

POWERED BY **Dialog**

ILLUMINATOR, ALIGNER PROVIDED THEREWITH, AND MANUFACTURE OF SEMICONDUCTOR DEVICE USING THE SAME

Publication Number: 11-312638 (JP 11312638 A) , November 09, 1999

Inventors:

- KOMATSUDA HIDEKI

Applicants

- NIKON CORP

Application Number: 10-263673 (JP 98263673) , September 17, 1998

Priority:

- 47400 [JP 9847400], JP (Japan), February 27, 1998

International Class:

- H01L-021/027
- G03F-007/20

Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To efficiently and evenly irradiate a mask with X rays, by respectively providing first optical surfaces having circular-arcuate contours to many first optical elements so as to form many light sources by dividing a luminous flux into many arcuate fluxes having wave surfaces. **SOLUTION:** A reflecting element group 2 is composed of many reflecting elements F having reflecting curved surfaces formed to have arcuate contours. The reflecting elements E are arranged in five rows along the Y-direction, with each row being constituted of many reflecting elements arranged in the Z-direction, so that the five rows of reflecting elements E may form a circle as a whole. The reflecting curved surface of each reflecting element E of partially cut off, so that the contour of the curved surface having a prescribed radius of curvature RE may partially form a circular-arcuate shape in a prescribed area which is eccentrically deviated from the optical axis AXE. Therefore, the reflecting surface RE of each reflecting element E formed as an eccentric first optical surface of forming many light sources by dividing a luminous flux into many arcuate luminous fluxes having wave surfaces is constituted of an eccentric spheric mirror.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

JAPIO

© 2004 Japan Patent Information Organization. All rights reserved.

Dialog® File Number 347 Accession Number 6371020

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-312638

(43) 公開日 平成11年(1999)11月9日

(51) Int.Cl.⁸

識別記号

F I

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 2 7

G 0 3 F 7/20

5 2 1

G 0 3 F 7/20

5 2 1

H 0 1 L 21/30

5 1 8

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願平10-263673

(22) 出願日 平成10年(1998)9月17日

(31) 優先権主張番号 特願平10-47400

(32) 優先日 平10(1998)2月27日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 小松田 秀基

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

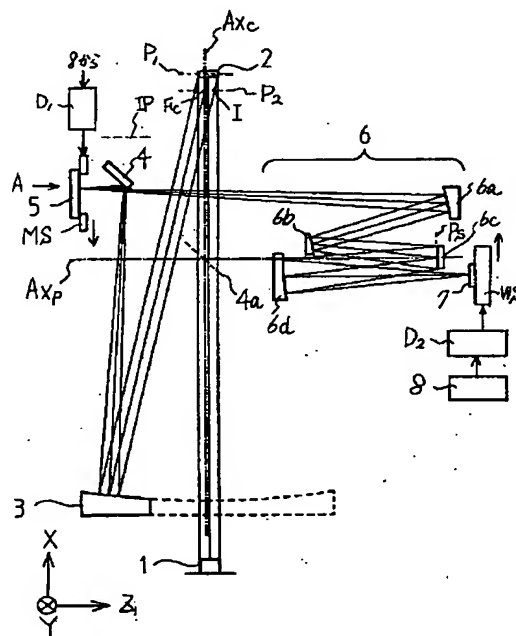
式会社ニコン内

(54) 【発明の名称】 照明装置、該照明装置を備えた露光装置および該露光装置を用いて半導体デバイスを製造する方法

(57) 【要約】

【目的】 従来よりも格段に照明効率が高く、より高いスループット化にも十分に対応できる照明装置、露光装置及びその露光装置を用いた半導体デバイスを製造する方法の提供にある。

【構成】 光束を供給する光源手段と、該光源手段からの光束に基づいて多数の光源像を形成する多光源形成光学系と、該多光源形成光学系により形成される前記多数の光源からの光束を集光して被照明面を照明するコンデンサー光学系とを有し、前記多光源形成光学系は、多数の第1光学素子を含む第1の光学素子群を有し、前記多数の第1光学素子は、前記光源手段からの光束を多数の円弧状の光束に波面分割して多数の光源を形成するために、円弧状の輪郭を持つ第1の光学面をそれぞれ有する構成とした。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光束を供給する光源手段と、該光源手段からの光束に基づいて多数の光源像を形成する多光源形成光学系と、該多光源形成光学系により形成される前記多数の光源からの光束を集光して被照明面を照明するコンデンサー光学系とを有し、

前記多光源形成光学系は、多数の第 1 光学素子を含む第 1 の光学素子群を有し、

前記多数の第 1 光学素子は、前記光源手段からの光束を多数の円弧状の光束に波面分割して多数の光源を形成するために、円弧状の輪郭を持つ第 1 の光学面をそれぞれ有することを特徴とする照明装置。

【請求項 2】 前記多数の第 1 光学素子の光学面は、所定の第 1 の反射曲面でそれぞれ形成されることを特徴とする請求項 1 に記載の照明装置。

【請求項 3】 前記第 1 光学素子は、前記第 1 の反射曲面の有効領域外に光軸を有する偏心ミラーで構成されることを特徴とする請求項 2 に記載の照明装置。

【請求項 4】 前記多光源形成光学系は、さらに、多数の第 2 光学素子を含む第 2 光学素子群を有し、

前記多数の第 2 光学素子は、矩形状に形成された第 2 の光学面をそれぞれ有し、

前記多数の第 2 光学素子の第 2 の光学面は、所定の第 2 の反射曲面でそれぞれ形成されることを特徴とする請求項 2 又は請求項 3 に記載の照明装置。

【請求項 5】 前記第 2 光学素子は、前記第 2 光学素子の中心位置に光軸を有することを特徴とする請求項 4 に記載の照明装置。

【請求項 6】 前記コンデンサー光学系は、少なくとも 1 枚以上の反射型光学素子のみで構成されることを特徴とする請求項 2 乃至請求項 5 のいずれか 1 項に記載の照明装置。

【請求項 7】 第 1 光学素子群は、前記第 1 光学素子が所定の第 1 方向に沿って多数配置された第 1 光学素子の列を、前記所定の第 1 方向と垂直な第 2 方向に沿って複数有し、

前記光学素子の列を構成する多数の第 1 光学素子は、非直線状に配列された光源像を形成することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 6 に記載の照明装置。

【請求項 8】 前記第 1 光学素子の列を構成する多数の第 1 光学素子の内の任意の第 1 光学素子は、前記第 1 反射曲面の向きが異なるように、前記多数の第 1 光学素子が配列される所定の平面に対して傾設されることを特徴とする請求項 7 に記載の照明装置。

【請求項 9】 前記第 1 光学素子群を構成する前記第 1 光学素子の焦点距離を f_f とし、前記コンデンサー光学系の焦点距離を f_c とするとき、以下の条件を満足することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 8 のいずれかに記載の照明装置。

$$0.01 < |f_f / f_c| < 0.5$$

【請求項 10】 光束を供給する光源手段と、被照射面を均一照明するために前記該光源手段からの光束に基づいて多数の光源を形成する多光源形成光学系とを有し、

前記多光源形成光学系は、前記多数の光源を形成するために多数の第 1 光学素子を含む第 1 の光学素子群と、前記第 1 の光学素子群により形成される多数の光源からの光束を集光して前記被照射面を照明する多数の第 2 光学素子を含む第 2 光学素子群とを有し、

前記多数の第 1 光学素子は、前記光源手段からの光束を多数の円弧状の光束に波面分割して多数の光源を形成するために、円弧状の輪郭を持つ第 1 の光学面をそれぞれ有し、

前記多数の第 2 光学素子は、矩形状に形成された第 2 の光学面をそれぞれ有することを特徴とする照明装置。

【請求項 11】 前記多数の第 2 光学素子の第 2 の光学面は、所定の第 2 の反射曲面でそれぞれ形成され、前記第 2 の反射曲面は、前記第 2 光学素子群の基準曲面に沿ってそれぞれ配列されていることを特徴とする請求項 10 に記載の照明装置。

【請求項 12】 前記光源手段と前記多光源形成光学系との間の光路中に補助多光源形成光学系を配置し、

前記補助多光源形成光学系は、多数の第 1 補助光学素子を含む第 1 の補助光学素子群を有することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 11 のいずれか 1 項に記載の照明装置。

【請求項 13】 前記光源手段と前記被照射面との間の光路中に、前記多光源形成光学系により形成される多数の光源よりなる面光源の形状または大きさを変更する変更手段を配置したことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 12 のいずれか 1 項に記載の照明装置。

【請求項 14】 請求項 1 乃至請求項 13 のいずれか 1 項に記載の照明装置と、

前記照明装置によって照明されるべき前記被照射面に配置されたマスクを保持するマスクステージと、

前記感光性基板を保持する基板ステージと前記マスクに形成された所定パターンを前記感光性基板に投影する投影光学系と、

前記マスクに形成された所定パターンを前記感光性基板に投影する際に、前記投影光学系に対して前記マスクステージと前記ウエハステージとを相対的に移動させる駆動装置とを備えたことを特徴とする露光装置。

【請求項 15】 請求項 14 に記載の露光装置を用いて、半導体デバイスを製造する方法において、前記投影系を介して、前記マスクのパターンを前記感光性基板に露光する工程を含むことを特徴とする半導体デバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、被照射面を均一に照明する照明装置に関するものであり、特に、光リソグラフ

ィー工程によって半導体デバイスを製造する際に、好適な照明装置や露光装置に関するものである。さらには、本発明は、その露光装置を用いて良好なる半導体デバイスを製造する方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、この種の照明装置を備えた半導体デバイスの製造用の露光装置は、マスク上に形成される回路パターンを投影光学系を介してレチクルが塗布されたウエハ等の感光性基板上に投影転写される。この投影光学系は、凹面鏡と凸面鏡との2枚の反射鏡を有しており、投影光学系の軸外の円弧状の領域の良像領域のみが利用されて、マスク上の円弧領域のみがウエハ上に投影転写される。そして、マスク全体の回路パターンの転写は、マスクとウエハとを一定方向に走査させることにより行われる。

【0003】この走査方式の露光によれば、比較的高いスループットのもとでしかも高解像力を得られるという利点がある。この種の露光装置においては、マスク上の円弧領域全体を均一でしかも一定の開口数(NA)で照明できる照明装置が望まれており、例えば、特開昭60-232552号公報にて、マスク上を円弧状に均一照明できる照明装置が提案されている。

【0004】この特開昭60-232552号公報にて提案されている照明装置では、図16の(a)に示すように、超高圧水銀灯21からの光束を楕円鏡22によってオブティカルインテグレータ23の入射面上で集光している。そして、このオブティカルインテグレータ23は、図16の(b)に示すように、焦点距離 f_1 のシリンドリカルレンズの集合体(23a, 23d)と焦点距離 f_2 のシリンドリカルレンズの集合体(23b, 23c)とが2枚ずつ組み合わせられて構成されている。この構成によって、直交方向において異なる開口数の光束を形成している。オブティカルインテグレータ23を介した光束は、コンデンサーレンズ24により集光されて、図16の(c)に示すように、円弧状開口部25aを有するスリット板25を照明し、その後、集光光学系26を介して被照射面であるマスクを均一に照明する。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところが、上記特開昭60-232552号公報にて提案されている照明装置では、図16の(c)に示したように、スリット板25上の円弧状開口部25aを少なくとも照射するように長方形の領域BFを照明しているため、円弧照明として有効に利用される光束は僅かである。

【0006】一般に、円弧状の弦長は、露光領域を大きくするために長く設定され、また円弧状のスリット幅25bはマスクをウエハ上に投影するミラー投影光学系の良像領域の制約から比較的狭く設定されている。従って、照明効率は、円弧状開口部25aと長方形の領域BFとの面積比で決定されるため、図16に示す従来の

照明装置では、原理的に光量損失が大きいという致命的な欠点を有している。この結果、被照射面(マスクやウエハ)上では十分な光量が得られないため、マスクとウエハとの走査速度を速めることができない。よって、より高スループットには対応できないという問題があった。

【0007】そこで、本発明では、上記の問題を解決して、従来よりも格段に照明効率が高く、より高いスループット化にも十分に対応でき、しかもケーラー照明等の均一照明が実現し得る照明装置、その照明装置を備えた露光装置、及びその露光装置を用いて良好なる半導体デバイスを製造する方法を提供することを主たる目的としている。

【0008】また、近年において、軟X線を供給するシンクロトロン発生装置等の光源装置を用いて、より一層微細な線幅のパターンを感光性基板に投影露光し得る次世代の露光装置が切望されており、軟X線等のX線を効率良く均一にマスクを照明し得る照明装置、及び露光装置が提案されていなかった。このため、本発明では、X線を効率良く均一にマスクを照明し得る照明装置及び露光装置、さらには、X線により良好なる半導体デバイスを製造する方法を提供することを副次的な目的としている。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記の主たる目的を達成するために、請求項1に係る発明では、例えば図1及び図8に示す如く、前記光源像形成光学系2は、多数の第1光学素子(E, E_1)を含む第1の光学素子群(2a, 20a)を有し、前記多数の第1光学素子(E, E_1)は、光源手段からの光束を多数の円弧状の光束に波面分割して多数の光源を形成するために、円弧状の輪郭を持つ第1の光学面(RS, RS₁)をそれぞれ有するように構成したものである。

【0010】これにより、光源像形成光学系2により円弧状に波面分割されて、多数の第1光学素子(E, E_1)の第1の光学面(RS, RS₁)の各々を介した光がコンデンサー光学系3の集光作用によって被照射面としてのマスク5又はウエハ7等を重畳するように円弧状の照明領域を形成するため、効率良く均一照明が実現できる。

【0011】また、請求項2に係る発明では、前記多数の第1光学素子(E, E_1)の光学面(RS, RS₁)は、所定の第1の反射曲面でそれぞれ形成されるように構成したものである。この場合、請求項3に記載しているように、前記第1光学素子(E, E_1)は、前記第1の反射曲面の有効領域外に光軸(Ax_1, Ax_{11})を有する偏心ミラーで構成されることが望ましい。

【0012】また、請求項4に係る発明では、前記多光源形成光学系2は、さらに、多数の第2光学素子 E_2 を含む第2光学素子群20bを有し、前記多数の第2光学

素子 E_2 は、矩形状に形成された第2の光学面 RS_2 をそれぞれ有し、前記多数の第2光学素子 E_2 の第2の光学面 RS_2 は、所定の第2の反射曲面でそれぞれ形成されるように構成したものである。これにより、光源手段1からの光からはある発散角度を持つ光が供給されたとしても、第1光学素子群20aを介した光束は効率良く第2光学素子群20bにて再度集光されるため、被照射面としてのマスク5又はウエハ7等は効率良く円弧状に照明される。

【0013】この場合、請求項5に記載の発明のように、前記第2光学素子 E_2 は、前記第2光学素子の中心位置 C_{E2} に光軸 Ax_{E2} を有することが好ましい。請求項6に係る発明では、前記コンデンサー光学系3は、少なくとも1枚以上の反射型光学素子のみで構成されるようにしたものである。このため、多光源形成光学系2及びコンデンサー光学系3を反射系のみで構成されることにより、20nm以下のX線を供給するシンクロトロン発生装置等のX線発生装置を光源手段とした場合にも、被照射面としてのマスク5又はウエハ7等は効率良く円弧状に均一照明される。

【0014】請求項7に記載の発明では、第1光学素子群20aは、前記第1光学素子 E_1 が所定の第1方向に沿って多数配置された第1光学素子の列を、前記所定の第1方向と垂直な第2方向に沿って複数有し、前記光学素子の列を構成する多数の第1光学素子 E_1 は、非直線状に配列された光源像を形成するように構成したものである。これにより、例えば、第2光学素子群20bの各第2光学素子 E_2 に内接するように光源像1を形成することができるため、各第2光学素子 E_2 を通過する光束の光量損失を小さく抑えることができる。

【0015】この場合、請求項8に記載されるように、前記第1光学素子の列を構成する多数の第1光学素子 E_1 の内の任意の第1光学素子 E_1 は、前記第1反射曲面の向きが異なるように、前記多数の第1光学素子 E_1 が配列される所定の平面 P_1 に対して傾設されることが好ましい。請求項9に記載の発明では、前記第1光学素子群を構成する前記第1光学素子の焦点距離を f_f とし、前記コンデンサー光学系の焦点距離を f_c とすると、以下の条件を満足するようにしたものである。

【0016】 $0.01 < |f_f / f_c| < 0.5$

これにより、装置のコンパクト化を図りながらも被照射面上にて均一な円弧状の照明領域を形成することができる。また、請求項10に記載の発明は、例えば図21に示すように、多光源形成光学系2は、多数の光源を形成するために多数の第1光学素子を含む第1の光学素子群20aと、その第1の光学素子群20aにより形成される多数の光源からの光束を集光して被照明面（マスク5又はウエハ7等）を照明する多数の第2光学素子を含む第2光学素子群20cとを有し、前記多数の第1光学素子は、光源手段からの光束を多数の円弧状の光束に波面

分割して多数の光源を形成するために、円弧状の輪郭を持つ第1の光学面をそれぞれ有し、前記多数の第2光学素子は、矩形状に形成された第2の光学面をそれぞれ有するように構成したものである。これにより、例えば、図8、図17及び図18にて必要とされたコンデンサー光学系3の機能を第2光学素子群20cに担わせることができるため、コンデンサー光学系3の構成を不要とすることができる。

【0017】この場合、請求項11に記載されているように、前記多数の第2光学素子の第2の光学面は、所定の第2の反射曲面でそれぞれ形成され、前記第2の反射曲面は、前記第2光学素子群20cの基準曲面に沿ってそれぞれ配列されていることが好ましい。また、請求項12に記載の発明では、例えば図20に示すように、光源手段（10～15）と多光源形成光学系2との間の光路中に補助多光源形成光学系120を配置し、前記補助多光源形成光学系120は、多数の第1補助光学素子を含む第1の補助光学素子群120aを有するように構成したものである。この補助多光源形成光学系120の作用によって、多光源形成光学系2にはより一層多くの光源が形成されるため、被照明面（マスク5又はウエハ7等）に形成される円弧状の照明領域をより一層均一にする。

【0018】また、請求項13に記載の発明は、例えば図17及び図18に示すように、光源手段と被照射面との間の光路中に、前記多光源形成光学系2により形成される多数の光源よりなる面光源の形状または大きさを変更する変更手段（AS1、AS2、51、60）を配置したものである。これにより、被照明面（マスク5又はウエハ7等）に対して各種の照明条件に見合った適切な照明を行うことができる。

【0019】また、請求項14の記載の発明では、請求項1乃至請求項13のいずれか1項に記載の照明装置と、前記照明装置によって照明されるべき前記被照射面に配置されたマスク5を保持するマスクステージMSと、前記感光性基板6を保持する基板ステージWSと、前記マスク5に形成された所定パターンを前記感光性基板に投影する投影系6と、前記マスク5に形成された所定パターンを前記感光性基板7に投影する際に、前記投影系6に対して前記マスクステージMSと前記基板ステージWSとを相対的に移動させる駆動装置（ D_1 、 D_2 ）とを備えた構成としたものである。これにより、スループットの高い露光装置の実現が可能となる。

【0020】請求項15の記載の発明では、請求項14に記載の露光装置を用いて、半導体デバイスを製造する方法において、前記投影系6を介して、前記マスク5のパターンを前記感光性基板7に露光する工程を含むことようにしたものである。これにより、良好な半導体デバイスを製造することができる。

【0021】

【発明の実施の形態】以下、図1乃至図4を参照しながら本発明による実施の形態について説明する。図1は本発明による第1の実施の形態の概略的構成を示す図であり、図2は多光源形成光学系（オプティカルインテグレータ）としての反射素子群2の構成を示す正面図である。図3は反射型光学素子群2を構成する各反射素子E₁の構成を示す図であり、図4は、図1に示した多光源像形成光学系（オプティカルインテグレータ）としての反射素子群2の作用を示す図である。

【0022】図1に示すように、200nm以下の波長を持つレーザ光を供給するレーザ光源等の光源手段から供給されるレーザ光（平行光束）は、多光源形成光学系（オプティカルインテグレータ）としての反射素子群2にはほぼ垂直に入射する。なお、光源手段としては、例えば、193nmの波長を持つレーザ光を供給するArFエキシマレーザ、157nmの波長を持つレーザ光を供給するF2レーザ等を用いることができる。

【0023】ここで、反射素子群2は、YZ平面に垂直な所定の第1の基準平面P₁に沿って多数の反射素子（光学素子）Eが2次元的に稠密に配置されて構成されている。具体的には、図2に示すように、反射素子群2は、輪郭（外形）が円弧状に形成された反射曲面を持つ反射素子Eを多数有している。そして、この反射素子群2は、Z方向に沿って多数配列された反射素子の列をY方向に沿って5列有している。そして、この5列の反射素子の列は、全体としてはほぼ円形状となるように構成されている。

【0024】なお、反射素子Eの輪郭形状（円弧形状）は、後述する被照射面としての反射マスク5上に形成される円弧状の照明領域IFの形状と相似である。各反射素子Eは、図3の（a）及び（b）に示すように、光軸Ax_eから偏心した所定の領域において所定の曲率半径R_eの反射曲面の1部を、輪郭（外形）が円弧状となるように切り出した形状を有しており、この円弧状反射素子Eの中心C_eは、光軸Ax_eからの高さh_eの位置にある。従って、各反射素子Eの偏心した反射面RS_eは、図3の（b）に示すように、所定の曲率半径R_eを有する偏心球面ミラーで構成される。なお、図3の（b）中のRS_eは、光源手段1から入射する光束を有効に反射させる反射素子Eの有効反射領域を示している。

【0025】よって、図3の（b）に示すように、反射素子Eの光軸Ax_eに沿って平行な方向に入射するレーザ光（平行光束）Lは、反射素子Eの光軸Ax_e上の焦点位置F_eに集光されて光源像Iを形成する。なお、この時の反射素子Eの焦点距離f_eは、反射素子Eの反射曲面の頂点O_eと反射素子Eの反射曲面の焦点位置F_eとの間の距離となり、反射素子Eの反射曲面の曲率半径R_eとすると、次式（1）の関係が成立している。

$$(1) \quad f_e = -R_e / 2$$

図1に戻って説明すると、反射素子群2にはほぼ垂直に入射するレーザ光（平行光束）は、多数の反射素子Eの反射作用によって、円弧状に波面分割されて入射光束からずれた位置P₂に多数の反射素子Eの数に対応する光源像が形成される。換言すれば、反射素子群2を構成する多数の反射素子Eの各光軸Ax_eに対して平行な方向からレーザ光が入射するものとする、各反射素子Eの反射集光作用により、各光軸Ax_e上に存在する焦点位置F_eを通る面P₂に光源像Iがそれぞれ形成される。多数の光源像Iが形成される面P₂には、実質的に、多数の2次光源が形成される。従って、反射素子群2は、多数の光源像Iを形成する光源像形成光学系、即ち多数の2次光源を形成する多光源形成光学系として機能を有している。

【0026】この多数の光源像Iからの光束は、コンデンサー光学系としての光軸Ax_cを有するコンデンサー反射鏡3に入射する。このコンデンサー反射鏡3は、光軸Ax_cから離れた位置に有効反射面を有する1枚の球面ミラーで構成され、この球面ミラーは、所定の曲率半径R_cを有している。コンデンサー反射鏡3の光軸Ax_cは、光学素子群2により多数の光源像Iが形成される中心位置（光軸Ax_cと光源像Iが形成される面P₂とが交差する位置）を通る。但し、コンデンサー反射鏡3の焦点位置は、この光軸Ax_c上に存在する。

【0027】なお、コンデンサー反射鏡3の光軸Ax_cは、光学素子群2を構成する多数の光学素子E_iの各光軸Ax_{e_i}と平行である。さて、多数の光源像Iからの各光束は、コンデンサー反射鏡3によりそれぞれ反射集光された後、偏向ミラーとしての平面鏡4を介して被照射面としての反射型マスク5を円弧状に重畳的に照明する。図4は図1の矢印Aで示す方向、即ち反射型マスク5の裏面から見たときに、反射型マスク5上に形成される円弧状の照明領域IFの様子を示しており、円弧状の照明領域IFの曲率中心O_{ir}は図1に示す投影系の光軸Ax_p上に存在する。また、仮に図1の平面ミラー4を除去した場合には、照明領域IFは図1の被照射面IPの位置に形成され、この時の照明領域IFの曲率中心O_{ir}は、コンデンサー光学系3の光軸Ax_c上に存在する。

【0028】従って、図1に示す例では、コンデンサー光学系3の光軸Ax_cが平面ミラー4によって90°偏向されていないが、図1に示す平面ミラー4の仮想の反射面4aにてコンデンサー光学系3の光軸Ax_cを90°偏向させれば、コンデンサー光学系3の光軸Ax_cと投影系6の光軸Ax_pとは、反射マスク5上では同軸となる。このため、これらの光軸（Ax_c、Ax_p）は光学的に同軸であると言える。よって、各光軸（Ax_c、Ax_p）は円弧状の照明領域IFの曲率中心O_{ir}を光学的に通るようにコンデンサー光学系3と投影系6とは配置されている。

【0029】さて、反射型マスク5の表面には、所定の回路パターンが形成されており、この反射型マスク5は、XY平面内に沿って2次的に移動可能なマスクステージMSに保持されている。この反射型マスク5を反射した光は、投影系6を介して感光性基板としてのレジストが塗布されたウエハW上に結像され、ここには、円弧状の反射マスク5のパターン像が投影転写される。ウエハ7は、XY平面内に沿って2次的に移動可能な基板ステージWSに保持されている。

【0030】ここで、マスクステージMSは第1駆動系D₁を介してXY平面内に沿って2次的に移動し、基板ステージWSは第2駆動系D₂を介してXY平面内に沿って2次的に移動する。この2つの駆動系(D₁、D₂)は、制御系8によって各駆動量が制御されている。従って、制御系8は、2つの駆動系(D₁、D₂)を介してマスクステージMS及び基板ステージWSを互いに反対方向(矢印方向)へ移動させることによって、反射型マスク5上に形成されているパターン全体が投影系6を介してウエハW上に走査露光される。これにより、半導体デバイスを製造する光リソグラフィ工程での良好なる回路パターンがウエハW上に転写されるため、良好なる半導体デバイスを製造することができる。

【0031】光軸Ax_cを有する投影系6は、その光軸Ax_cから離れた位置に有効反射面を持つ4枚の非球面ミラー(6a~6d)を有するオフアクシス型の縮小系で構成されている。第1、第3及び第4の非球面ミラー(6a、6c、6d)は、凹面型の非球面鏡で構成され、第2の非球面ミラー6bは、凸面型の非球面鏡で構成されている。投影系6の瞳は第3の非球面ミラー6cの反射表面上に存在し、この瞳の位置P_cには開口絞り等が設けられている。

【0032】さて、次に、図1に示した例の光学素子群2の作用について、図5を参照しながら説明する。図5は、図1に示した反射マスク5を照明する照明装置の部分を拡大して示した図であり、図5では、説明を分かりやすくするために、平面ミラー4を省略し、また、反射素子群2が3つの反射素子(E₁、~E₃)で構成されているものとする。

【0033】図1にて説明したように、反射素子群2は、所定の基準平面P₁に沿って配置された3つの反射素子(E₁、~E₃)を含み、その所定の基準平面P₁は、各反射素子(E₁、~E₃)の焦点位置(曲率中心の位置)P₁を通る平面(YZ平面)と平行である。図5に示すように、反射素子群2中の反射素子E₁に入射したレーザ光(平行光束)は、反射素子E₁の反射面の輪郭形状に対応するように円弧状の光束に波面分割されて、その波面分割された円弧状の光束(実線で示す光束)は、反射素子E₁の反射面の集光作用によって光源像I₁を形成する。その後、その光源像I₁からの光束はコンデンサー光学系3の反射面によって集光されて、

反射型マスク5は斜め方向から円弧状に照明される。なお、図5の紙面方向が反射型マスク5上に形成される円弧状の照明領域の幅方向となる。

【0034】また、反射素子群2中の反射素子E₂に入射したレーザ光(平行光束)は、光学素子E₂の反射面の輪郭形状に対応するように円弧状の光束に波面分割されて、その波面分割された円弧状の光束(実線で示す光束)は、反射素子E₂の反射面の集光作用によって光源像I₂を形成する。その後、その光源像I₂からの光束はコンデンサー光学系3の反射面によって集光されて、反射型マスク5は、実線で示した光束により形成される円弧状の照明領域と重畳するように円弧状に照明される。

【0035】このように、反射素子群2中の各反射素子を通じた光が反射型マスク5上を円弧状に重畳的に照明するため、均一な照明が達成できる。なお、図1に示すように、反射素子群2中の各反射素子により形成される光源像が投影系6の瞳の位置P_c(投影系6の入射瞳)に再結像されるため、所謂ケーラー照明が達成される。

【0036】以上の第1の実施の形態で示すように、マスク5のパターンを感光性基板7に露光するために、照明装置及び投影系の全てを反射型部材及び反射型素子で構成したとしても、実質的にケーラー照明の条件を保ちながら、マスク上に照度が均一な円弧状の照明領域を効率良く形成することができる。なお、コンデンサー光学系3の射影関係を正射影にすることにより、方向によらず均一な開口数NAのもとで反射型マスク5を照明することができる。

【0037】また、図2に示されるように、反射素子群2の外形(輪郭)がほぼ円形状に多数の反射素子Eが稠密に配列されることにより、位置P_cに形成される多数の光源像により形成される2次光源の外形(輪郭)がほぼ円形状となる。従って、コンデンサー光学系3の射影関係を正射影にする事及び2次光源の外形(輪郭)にする事を同時に行うことにより、マスク5上に形成される照明領域IF内での空間コヒーレンシーが場所及び方向によらず均一にすることができる。

【0038】さらに、反射素子群2中の各反射素子の反射面の形状は、射影関係をコンデンサー光学系3と同一にとなるように構成することにより、反射素子群2及びコンデンサー光学系3にて歪曲収差を発生させることなく、反射型マスク5上に形成される円弧状照明領域での照度をより一層均一にすることができる。以上においては、反射素子群2を構成する各反射素子E及びコンデンサー光学系3を構成するコンデンサーミラーを共に偏心した球面状の反射面とした例を述べたが、これらを非球面とすることもできる。

【0039】そこで、図1に示した露光装置中の反射素子群2及びコンデンサー光学系3の具体的な数値を挙げ

る。以下に掲げる数値例では、反射素子群2を構成する各反射素子E及びコンデンサー光学系3を構成するコンデンサーミラーが共に非球面で構成された場合を示している。図4に示すように、反射マスク5上に形成される円弧状の照明領域IFの円弧の曲率 R_{1f} を96mm、照明領域IFの円弧の張る角 α_{1f} を 60° 、円弧状の照明領域IFの両端間の距離 L_{1f} を96mm、照明領域IFの円弧の幅 t_{1f} を6mm、反射マスク5上での照明開口数NAを0.015、反射マスク5の法線に対する照明光の主光線の傾きを 30 mrad （換言すれば、投影系6の入射瞳位置が反射マスク5から3119mmにあることと同じ。）、レーザ光源から供給される光束径 ϕ を42mm程度とする。

【0040】また、図6の(a)に示すように、反射素子群2中の反射素子Eの反射曲面（非球面）を AS_e とし、反射素子Eの反射曲面の頂点 O_e での基準球面を S_e 、基準球面の曲率中心を O_{se} 、反射素子Eの反射曲面の頂点 O_e での接平面と垂直かつ反射素子Eの反射曲面の頂点 O_e を通る方向をX軸（反射素子Eの光軸 Ax_e をX軸）とし、反射素子Eの反射曲面の頂点 O_e での接平面と平行かつ反射素子Eの反射曲面の頂点 O_e を通る方向をY軸、X軸とY軸とが交差する反射素子Eの反射曲面の頂点 O_e を原点とするXY座標を考える。

【0041】ここで、図6の(a)は反射素子群2中の反射素子Eの反射曲面の断面図を示しており、図6の(b)は反射素子群2中の反射素子Eの正面図を示している。反射素子Eの反射曲面の頂点 O_e での接平面から反射素子Eの反射表面（非球面）までのX軸（光軸 Ax_e ）の方向に沿った距離を x 、X軸（光軸 Ax_e ）から反射素子Eの反射表面（非球面）までのY軸の方向に沿った距離を y 、反射素子Eの反射曲面の頂点 O_e を通る基準球面 S_e の曲率半径（反射素子Eの基準曲率半径）を R_e 、非球面係数を C_2 、 C_4 、 C_6 、 C_8 、及び C_{10} とすると、反射素子群2を構成する各反射素子Eの反射面は、以下の非球面式で表現される非球面で構成される。

$$x(y) = (y^2 / R_e) / [1 + (1 - y^2 / R_e^2)^{0.5}] + C_2 y^2 + C_4 y^4 + C_6 y^6 + C_8 y^8 + C_{10} y^{10}$$

$$R_e = -183.3211$$

$$C_2 = -5.37852 \times 10^{-4}$$

$$C_4 = -4.67282 \times 10^{-6}$$

$$C_6 = -2.11339 \times 10^{-10}$$

$$C_8 = 5.71431 \times 10^{-12}$$

$$C_{10} = -5.18051 \times 10^{-14}$$

反射素子群2を構成する各反射素子Eは、図6の(a)に示すように、ミラーの断面方向では、光軸 Ax_e からの高さ y_1 と光軸 Ax_e からの高さ y_2 とで挟まれた反射断面形状を有し、図6の(b)に示すように正面方向では、円弧の開き角 α_e が 60° で円弧の両端間の長さ

が5.25mmとなる円弧状の非球面偏心ミラーで構成されている。なお、光軸 Ax_e からの高さ y_1 は5.085mmであり、光軸 Ax_e からの高さ y_2 は5.415mmである。

【0042】この場合、反射素子Eにより形成される光源像Iは、反射素子Eの光軸 Ax_e の方向では、反射素子Eの反射曲面の頂点 O_e から76.56mm(= x_1)だけ離れた位置にあり、反射素子Eの光軸 Ax_e と直交する方向では、反射素子Eの円弧の中心径から5.25mmだけ離れた光軸 Ax_e の位置にある。なお、反射素子Eの光軸 Ax_e と直交する方向での光源像Iの位置は、反射素子Eの円弧の外径から5.085mm(= y_1)だけ離れた光軸 Ax_e の位置にあり、また、反射素子Eの円弧の外径から5.415mm(= y_2)だけ離れた光軸 Ax_e の位置にある。

【0043】そして、図2に示すように、以上の寸法の有する多数の偏心非球面型の反射素子Eを配列することにより良好なる反射素子群2を構成することができる。次に、以上の寸法の有する多数の偏心非球面型を有する反射素子Eを用いた場合におけるコンデンサー光学系としてのコンデンサーミラー3の具体的な数値例について挙げる。

【0044】図7に示すように、コンデンサーミラー3の反射曲面（非球面）を AS_c とし、コンデンサーミラー3の反射曲面の頂点 O_c での基準球面を S_c 、基準球面の曲率中心を O_{sc} 、コンデンサーミラー3の反射曲面の頂点 O_c での接平面と垂直かつコンデンサーミラー3の反射曲面の頂点 O_c を通る方向をX軸（コンデンサーミラー3の光軸 Ax_c をX軸）とし、コンデンサーミラー3の反射曲面の頂点 O_c での接平面と平行かつコンデンサーミラー3の反射曲面の頂点 O_c を通る方向をY軸、X軸とY軸とが交差するコンデンサーミラー3の反射曲面の頂点 O_c を原点とするXY座標を考える。

【0045】ここで、図7はコンデンサーミラー3の反射曲面の断面図を示している。コンデンサーミラー3の反射曲面の頂点 O_c での接平面からコンデンサーミラー3の反射表面（非球面）までのX軸（光軸 Ax_c ）の方向に沿った距離を x 、X軸（光軸 Ax_c ）からコンデンサーミラー3の反射表面（非球面）までのY軸の方向に沿った距離を y 、コンデンサーミラー3の反射曲面の頂点 O_c を通る基準球面の曲率半径（コンデンサーミラー3の基準曲率半径）を R_c 、非球面係数を C_2 、 C_4 、 C_6 、 C_8 、及び C_{10} とすると、コンデンサーミラー3の反射面は、以下の非球面式で表現される非球面で構成される。

$$x(y) = (y^2 / R_c) / [1 + (1 - y^2 / R_c^2)^{0.5}] + C_2 y^2 + C_4 y^4 + C_6 y^6 + C_8 y^8 + C_{10} y^{10}$$

$$R_c = -3518.74523$$

$$C_2 = -3.64753 \times 10^{-4}$$

$$C_1 = -1.71519 \times 10^{-11}$$

$$C_2 = 1.03873 \times 10^{-13}$$

$$C_3 = -3.84891 \times 10^{-20}$$

$$C_{10} = 5.12369 \times 10^{-23}$$

但し、コンデンサーミラー3の光軸 Ax_c と直交する面 P_2 には、反射素子群2により形成される光源像1が形成されており、この光源像1が形成される面 P_2 は、コンデンサーミラー3の反射曲面の頂点 O_c から光軸 Ax_c に沿って2009.8mm(x_{1c})だけ離れた位置にある。

【0046】以上の数値例で示した偏心非球面型の反射面を持つ多数の反射素子Eで構成される反射素子群2と偏心非球面型のコンデンサーミラー3によって、照度分布及び空間的コヒーレンシーが均一な円弧状の被照射領域1Fが形成される。このとき、図7に示すように、コンデンサーミラー3により形成される円弧状の被照射領域1Fの幅方向での中心 C_{1r} は、コンデンサーミラー3の光軸 Ax_c の方向では、コンデンサーミラー3の反射曲面の頂点 O_c から1400mm($=x_{1r}$)だけ離れた位置にあり、コンデンサーミラー3の光軸 Ax_c の高さ方向では、その光軸 Ax_c から96($=y_{1c}$)の位置にある。

【0047】以上の構成により、反射型マスク5上に照度及び空間コヒーレンシーが均一な照明領域1Fを形成することができる。なお、光学素子群2を構成する各光学素子Eの焦点距離を f_r とし、コンデンサー光学系3の焦点距離を f_c とすると、以下の式(2)の関係を満たすことが好ましい。

$$(2) \quad 0.01 < |f_r / f_c| < 0.5$$

この(2)式の上限を越えると、光学素子群2を構成する各光学素子に適切なパワーを持たせたときに、コンデンサー光学系の焦点距離が非常に短くなり過ぎる。このため、コンデンサー光学系にて収差が大きくなり発生するため、マスク5上に均一な円弧状の照明領域を形成することが困難となる。一方、(2)式の下限を越えると、光学素子群を構成する各光学素子に適切なパワーを持たせたときに、コンデンサー光学系の焦点距離が長くなり過ぎ、コンデンサー光学系自体が大きくなり過ぎ、装置をコンパクトに構成することが困難となる。

【0048】因みに、前述の光学素子群2を構成する各光学素子E及びコンデンサーミラー3の数値例に従って、上記(2)式の対応値を挙げる。前述のように、光学素子群2を構成する各光学素子の曲率半径 R_e は-183.3211mmであるため、その光学素子Eの基準の焦点距離 f_r は91.66055mm($f_r = -R_e / 2$)となる。また、コンデンサーミラー3の曲率半径 R_c は-3518.74523mmであるため、その光学素子Eの基準の焦点距離 f_c は1759.3726mm($f_c = -R_c / 2$)となる。従って、 $|f_r / f_c| = 0.052$ となり、上式で示した関係を満たして

り、良好なる照明領域を保ちながら装置がコンパクトに構成されていることが理解できる。

【0049】さて、次に、図8、図9、図10及び図11を参照しながら本発明による第2の実施の形態について説明する。以上の第1の実施の形態では、多光源形成光学系(オブティカルインテグレータ)を1つの反射素子群2のみで構成した例を示したが、第2の実施の形態では、多光源形成光学系(オブティカルインテグレータ)を2つの反射素子群(20a、20b)で構成した例を示す。

【0050】図8は本発明による第2の実施の形態の概略的構成を示す図であり、図9は多光源形成光学系(オブティカルインテグレータ)としての2つの反射素子群(20a、20b)の構成を示す正面図である。図10は第1の反射素子群20aを構成する各反射素子 E_1 の構成を示す図であり、図11は第2の反射素子群20bを構成する各反射素子 E_2 の構成を示す図である。図12は図8に示した多光源形成光学系(オブティカルインテグレータ)としての2つの反射素子群(20a、20b)の作用を示す図である。

【0051】図8に示すように、光源手段としてのX線放射装置1は、10nm~15nmの波長を持つX線を放射するレーザプラズマX線源、10nm~15nmの波長を持つ放射光を供給するシンクロトロン発生装置等である。X線放射装置1からの供給される放射光(X線)は、多光源形成光学系(オブティカルインテグレータ)2に向け放射される。

【0052】ここで、多光源形成光学系(オブティカルインテグレータ)2は、第1の反射素子群20aと第2の反射素子群20bとで構成されている。まず、第1の反射素子群20aについて説明する。第1の反射素子群20aは、YZ平面に垂直な所定の基準平面P₁に沿って多数の第1の反射素子(光学素子) E_1 が2次元的に稠密に配置されて構成されている。具体的には、図9の(a)に示すように、第1の反射素子群20aは、輪郭(外形)が円弧状に形成された反射曲面を持つ反射素子 E_1 を多数有している。そして、この第1の反射素子群20aは、Z方向に沿って多数配列された第1の反射素子の列をY方向に沿って5列有している。そして、この5列の第1の反射素子の列は、全体としてはほぼ円形状となるように構成されている。

【0053】なお、反射素子Eの輪郭形状(円弧形状)は、後述する被照射面としての反射マスク5上に形成される円弧状の照明領域1Fの形状と相似である。各反射素子 E_1 は、図10の(a)及び(b)に示すように、光軸 Ax_{e1} から偏心した所定の領域において所定の曲率半径 R_{e1} の反射曲面の1部を、輪郭(外形)が円弧状となるように切り出した形状を有しており、この円弧状反射素子 E_1 の中心 C_{e1} は、光軸 Ax_{e1} からの高さ h_{e1} の位置にある。従って、各反射素子 E_1 の偏心した反射面

は、図10の(b)に示すように、所定の曲率半径 R_{e1} を有する偏心球面ミラーで構成される。

【0054】よって、図10の(b)に示すように、反射素子 E_1 の光軸 A_{xe1} に対して所定の斜め方向から入射する放射光(X線)は、反射素子 E_1 の焦点位置 F_{e1} と垂直な面 P_{fo} (光軸 A_{xe1} から離れた位置)に集光されて光源像Iを形成する。なお、この時の反射素子 E_1 の焦点距離 f_{e1} は、反射素子 E_1 の反射曲面の頂点 O_{e1} と反射素子 E_1 の反射曲面の焦点位置 F_{e1} との間の距離となり、反射素子 E_1 の反射曲面の曲率半径 R_{e1} とすると、次式(3)の関係が成立している。

$$(3) \quad f_{e1} = -R_{e1}/2$$

図8に戻って説明すると、第1の反射素子群20aに所定の方向から斜入射する放射光(X線)は、多数の反射素子 E_1 の反射作用によって、円弧状に波面分割されて入射光束からずれた位置P。(第2反射素子群20bを構成する各反射素子の表面の位置)に多数の反射素子 E_1 の数に対応する光源像Iが形成される。換言すれば、第1の反射素子群20aを構成する多数の反射素子 E_1 の各光軸 A_{xe1} に対して斜め方向から放射光Lが入射するものとする、各反射素子 E_1 の反射集光作用により、各光軸 A_{xe} 上に存在する焦点位置 F_{e1} を通る面 P に光源像Iがそれぞれ形成される。多数の光源像Iが形成される面 P 。(図10の P_{fo})には、実質的に、多数の2次光源が形成される。

【0055】この多数の光源像Iが形成される面 P には、図9の(b)に示されるように、第2の反射素子群20bが配置されている。ここで、放射光源装置1から供給される放射光は平行光束に加えて、ある範囲での発散角を持つ光束が放射される。このため、第1の反射素子群20aにより面 P には、ある大きさを持つ光源像Iが形成される。従って、この第2の反射素子群20bは、放射光源装置1から供給される放射光を有効に利用するために、フィールドミラー群として機能する。すなわち、第2の反射素子群20bを構成する多数の第2の反射素子 E_2 は、それぞれフィールドミラーとしての機能を有している。

【0056】第2反射素子群20bの構成について説明すると、第2の反射素子群20bは、YZ平面に垂直な所定の第2の基準平面(多数の光源像Iが形成される面 P)に沿って多数の第2の反射素子(光学素子) E_2 が2次元的に稠密に配置されて構成されている。具体的には、図9の(b)に示すように、第2の反射素子群20bは、輪郭(外形)が長方形に形成された反射曲面を持つ反射素子 E_2 を多数有している。そして、この第2の反射素子群20bは、Z方向に沿って多数配列された第2の反射素子の列をY方向に沿って5列有している。そして、この5列の第2の反射素子の列は、全体としてはほぼ円形状となるように構成されている。

【0057】すなわち、第2の反射素子群20bを構成

する多数の第2の反射素子 E_2 は、第1の反射素子群20aを構成する多数の第1の反射素子 E_1 と1対1となるように互いに対向してそれぞれ配列されている。ここで、各反射素子 E_2 は、図11の(a)及び(b)に示すように、光軸 A_{xe2} を含む所定の領域において所定の曲率半径 R_{e2} の反射曲面の1部を、輪郭(外形)が長方形形状となるように切り出した形状を有しており、この長方形形状反射素子 E_2 の中心 C_{e2} は、この反射素子 E_2 の光軸 A_{xe2} と一致している。従って、各反射素子 E_2 の反射面は、図11の(a)及び(b)に示すように、所定の曲率半径 R_{e2} を有する同心球面ミラーで構成される。

【0058】なお、第1及び第2の反射素子群との2つの反射素子群とによって、多数の光源像Iを形成する光源像形成光学系、即ち多数の2次光源を形成する多光源形成光学系として機能が得られる。第2の反射素子群20aによって反射された多数の光源像Iからの光束は、コンデンサー光学系としての光軸 A_{xc} を有するコンデンサー反射鏡3に入射する。このコンデンサー反射鏡3は、光軸 A_{xc} に対して偏心した1枚の偏心球面ミラーで構成され、この偏心球面ミラーは、所定の曲率半径 R_c を有している。このコンデンサー反射鏡3の焦点位置は、第2の光学素子群20aにより多数の光源像Iが形成される2次光源面 P_2 と一致しており、コンデンサー反射鏡3の曲率中心 O_c は、第2の反射素子群上に形成される多数の光源像Iの中心位置(光軸 A_{xc} と光源像Iが形成される面 P_2 とが交差する位置)または光学素子群2の中心に存在する。

【0059】なお、コンデンサー反射鏡3の光軸 A_{xc} は、第1の光学素子群20aを構成する多数の光学素子 E_1 の各光軸 A_{xe1} と平行であるが、第2の光学素子群20bを構成する多数の光学素子 E_2 の各光軸 A_{xe2} と平行でない。つまり、第2の光学素子群20bを構成する多数の光学素子 E_2 の各光軸 A_{xe2} は、斜入射した光束があたかも垂直入射したから如く光線の入射角の半分だけ傾いている。

【0060】さて、第2の反射素子群20aによって反射された多数の光源像Iからの各光束は、コンデンサー反射鏡3によりそれぞれ反射集光された後、偏向ミラーとしての平面鏡4を介して被照射面としての反射型マスク5を円弧状に重畳的に照明する。図4は図8の矢印Aで示す方向、即ち反射型マスク5の裏面から見たときに、反射型マスク5上に形成される円弧状の照明領域IFの様子を示しており、円弧状の照明領域IFの曲率中心 O_{r1} は図1に示す投影系の光軸 A_{xp} 上に存在する。また、仮に図8の平面ミラー4を除去した場合には、照射領域IFは図8の被照射面IPの位置に形成され、この時の照明領域IFの曲率中心 O_{r1} は、コンデンサー光学系3の光軸 A_{xc} 上に存在する。

【0061】従って、図8に示す例では、コンデンサー

光学系 3 の光軸 Ax_c が平面ミラー 4 によって 90° 偏向されていないが、図 8 に示す平面ミラー 4 の仮想の反射面 4 a にてコンデンサー光学系 3 の光軸 Ax_c を 90° 偏向させれば、コンデンサー光学系 3 の光軸 Ax_c と投影系 6 の光軸 Ax_p とは、反射マスク 5 上では同軸となる。このため、これらの光軸 (Ax_c 、 Ax_p) は光学的に同軸であると言える。よって、各光軸 (Ax_c 、 Ax_p) は円弧状の照明領域 IF の曲率中心 O_{rf} を光学的に通るようにコンデンサー光学系 3 と投影系 6 とは配置されている。

【0062】さて、反射型マスク 5 の表面には、所定の回路パターンが形成されており、この反射型マスク 5 は、 XY 平面内に沿って 2 次元的に移動可能なマスクステージ MS に保持されている。この反射型マスク 5 を反射した光は、投影系 6 を介して感光性基板としてのレジストが塗布されたウエハ 7 上に結像され、ここには、円弧状の反射マスク 5 のパターン像が投影転写される。ウエハ 7 は、 XY 平面内に沿って 2 次元的に移動可能な基板ステージ WS に保持されている。

【0063】ここで、マスクステージ MS は第 1 駆動系 D_1 を介して XY 平面内に沿って 2 次元的に移動し、基板ステージ WS は第 2 駆動系 D_2 を介して XY 平面内に沿って 2 次元的に移動する。この 2 つの駆動系 (D_1 、 D_2) は、制御系 8 によって各駆動量が制御されている。従って、制御系 8 は、2 つの駆動系 (D_1 、 D_2) を介してマスクステージ MS 及び基板ステージ WS を互いに反対方向 (矢印方向) へ移動させることによって、反射型マスク 5 上に形成されているパターン全体が投影系 6 を介してウエハ W 上に走査露光される。これにより、半導体デバイスを製造する光リソグラフィ工程での良好なる回路パターンがウエハ W 上に転写されるため、良好なる半導体デバイスを製造することができる。

【0064】光軸 Ax_p を有する投影系 6 は、第 1 の実施の形態で説明したように、その光軸 Ax_c から離れた位置に有効反射面を持つ 4 枚の非球面ミラー (6 a ~ 6 d) を有するオスアキス型の縮小系で構成されている。第 1、第 3 及び第 4 の非球面ミラー (6 a、6 c、6 d) は、凹面型の非球面鏡で構成され、第 2 の非球面ミラー 6 b は、凸面型の非球面鏡で構成されている。投影系 6 の瞳は第 3 の非球面ミラー 6 c の反射表面上に存在し、この瞳の位置 P には開口絞り等が設けられている。

【0065】さて、次に、図 8 に示した例の第 1 及び第 2 反射素子群 (20 a、20 b) の作用について、図 12 を参照しながら説明する。図 12 は、図 8 に示した反射マスク 5 を照明する照明装置の部分を拡大して示した図であり、図 12 では、説明を分かりやすくするために、平面ミラー 4 を省略し、また、第 1 の反射素子群 20 a が 2 つの反射素子 (E_{s1} 、 E_{s2}) で構成され、第 2 の反射素子群 20 b が 2 つの反射素子 (E_{s3} 、 E_{s4}) で

構成されているものとする。

【0066】第 1 の反射素子群 20 a は、所定の第 1 の基準平面 P_1 に沿って配置された 2 つの第 1 の反射素子 (E_{s1} 、 E_{s2}) を含み、その所定の基準平面 P_1 は、被照射面としての反射マスク 5 と光学的に共役な位置、またはその共役な位置の近傍にある。また、第 2 の反射素子群 20 b は、所定の第 2 の基準平面 P_2 に沿って配置された 2 つの第 1 の反射素子 (E_{s3} 、 E_{s4}) を含み、その所定の基準平面 P_2 は、投影系 6 の瞳と光学的に共役な位置、またはその共役な位置の近傍にある。

【0067】図 12 に示すように、第 1 反射素子群 20 a 中の反射素子 E_{s1} にある方向から入射する実線で示す放射光 (X 線) は、反射素子 E_{s1} の反射面の輪郭形状に対応するように円弧状の光束に波面分割されて、その波面分割された円弧状の光束 (実線で示す光束) は、反射素子 E_{s1} の反射面の集光作用によって第 2 反射素子群 20 b 中の反射素子 E_{s3} 上の一端に光源像 I_1 を形成する。

【0068】また、第 1 反射素子群 20 a 中の反射素子 E_{s2} に別の方向から入射する点線で示す放射光 (X 線) は、反射素子 E_{s2} の反射面の輪郭形状に対応するように円弧状の光束に波面分割されて、その波面分割された円弧状の光束 (点線で示す光束) は、反射素子 E_{s2} の反射面の集光作用によって第 2 反射素子群 20 b 中の反射素子 E_{s4} 上の他端に光源像 I_2 を形成する。

【0069】従って、第 1 反射素子群 20 a 中の反射素子 E_{s1} に実線及び点線で示す角度範囲の放射光が入射すると、第 2 反射素子群 20 b 中の反射素子 E_{s3} 上には光源像 I_1 と光源像 I_2 との間を結んだ大きさの光源像が形成される。その後、これら 2 つの光源像 (I_1 、 I_2) からの光束は、第 2 反射素子群 20 b 中の反射素子 E_{s3} の反射集光作用 (フィールドミラーの作用) によって集光され、さらに、コンデンサー光学系 3 の反射面の反射集光作用によって集光されて、反射型マスク 5 を 2 方向から重畳するように円弧照明される。なお、図 12 の紙面方向が反射型マスク 5 上に形成される円弧状の照明領域の幅方向となる。

【0070】また、第 1 反射素子群 20 a 中の反射素子 E_{s1} 及び第 2 反射素子群 20 b 中の反射素子 E_{s3} による光学作用は、前述した第 1 反射素子群 20 a 中の反射素子 E_{s1} 及び第 2 反射素子群 20 b 中の反射素子 E_{s3} による光学作用と同じであるため説明は省略する。このように、2 つの反射素子群 (20 a、20 b) によって形成された多数の光源像からの光が反射型マスク 5 上に円弧状に重畳的に照明するため、効率良く均一な照明が達成できる。しかも、第 2 反射素子群 20 b 中の各反射素子 E の作用 (フィールドミラーの作用) によって、大きさを持つ光源像からの光束を効率良く集光させているため、コンデンサー光学系 3 の大きさをコンパクトにすることができる。

10

20

30

40

50

【0071】なお、図8に示すように、第2の反射素子群20b中の各反射素子の表面に形成される光源像が投影系6の瞳の位置P₆（投影系6の入射瞳）に再結像されるため、所謂ケーラー照明が達成される。以上の第2の実施の形態で示すように、例えば、X線等の波長が10nm以下かつある発散角を持つ光を用いて、マスクパターンを感光性基板7に露光するために、照明装置及び投影系の全てを反射型部材及び反射型素子で構成したとしても、実質的にケーラー照明の条件を保ちながら、マスク上に照度が均一な円弧状の照明領域を効率良く形成することができる。

【0072】また、第2の実施の形態では、第1及び第2の反射素子群（20a、20b）を構成する各反射素子（E₁、E₂）及びコンデンサー光学系を構成するコンデンサーミラー3を共に偏心した球面状の反射面とした例を述べたが、これらを非球面とすることもできることは言うまでもない。また、第2の実施の形態では、コンデンサー光学系3の光軸A_xcと投影系6の光軸A_xpとが互いに直交するように、コンデンサー光学系3と投影系6とを配置した例を示したが、図13に示すように、偏向ミラー（平面ミラー）4の配置を変更して、物理的な配置上においても、コンデンサー光学系3の光軸A_xcと投影系6の光軸A_xpとが同軸となるように、コンデンサー光学系3と投影系6とを配置しても良い。

【0073】さて、次に、図14及び図15を参照しながら第2の実施の形態の変形例について説明する。本例では、図9の（a）及び（b）に示した第1及び第2の反射素子群（20a、20b）での照明効率をより一層改善するために、図8に示した第1及び第2の反射素子群（20a、20b）を図14及び図15に示す構成としたものである。

【0074】まず、第1の反射素子群20aの構成について説明すると、図14の（a）に示すように、第1の反射素子群20aは、円弧状の輪郭（外形）を有する多数の第1の反射素子がZ方向に沿って多数配列された第2の反射素子の列をY方向に沿って3列有している。第1番目の反射素子の列G_{e11}は多数の反射素子（E_{11a}、～E_{11v}）で構成されている。そして、この第1番目の反射素子の列G_{e11}は、第1番目の反射素子の列の中心（各反射素子の中心）を横切りZ軸と平行な軸A₁を中心に、第1番目の反射素子の列G_{e11}を構成する任意の反射素子がそれぞれ所定量だけ回転させた状態で配列されている。

【0075】また、第2番目の反射素子の列G_{e12}は多数の反射素子（E_{12a}、～E_{12v}）で構成されている。そして、この第2番目の反射素子の列G_{e12}は、第2番目の反射素子の列の中心（各反射素子の中心）を横切りZ軸と平行な軸A₂を中心に、第2番目の反射素子の列G_{e12}を構成する任意の反射素子がそれぞれ所定量だけ回転させた状態で配列されている。

【0076】さらに、第3番目の反射素子の列G_{e13}は多数の反射素子（E_{13a}、～E_{13v}）で構成されている。そして、この第3番目の反射素子の列G_{e13}は、第3番目の反射素子の列の中心（各反射素子の中心）を横切りZ軸と平行な軸A₃を中心に、第3番目の反射素子の列G_{e13}を構成する任意の反射素子がそれぞれ所定量だけ回転させた状態で配列されている。

【0077】次に、第2の反射素子群20aの構成について説明すると、図14の（b）に示すように、第2の反射素子群20bは、ほぼ正方形の輪郭（外形）を有する多数の第2の反射素子E₂がZ方向に沿って多数配列された反射素子の列をY方向に沿って9列有している。そして、第2の反射素子群20bは、図14の（b）の下側の列から順に、第1列～第3列までの3列の反射素子列からなる第1の部分群G_{e21}と、第4列～第6列までの3列の反射素子列からなる第2の部分群G_{e22}と、第7列～第9列までの3列の反射素子列からなる第3の部分群G_{e23}とを有している。

【0078】ここで、第1の部分群G_{e21}を構成する各反射素子E₂の表面には、前述の第1の反射素子群20a中の第1番目の反射素子の列G_{e11}の各反射素子（E_{11a}、～E_{11v}）によって集光された光源像がそれぞれ形成される。また、第2の部分群G_{e22}を構成する各反射素子E₂の表面には、前述の第1の反射素子群20a中の第2番目の反射素子列G_{e12}の各反射素子（E_{12a}、～E_{12v}）によって集光された光源像がそれぞれ形成される。

【0079】さらに、第3の部分群G_{e23}を構成する各反射素子E₂の表面には、前述の第1の反射素子群20a中の第3番目の反射素子列G_{e13}の各反射素子（E_{13a}、～E_{13v}）によって集光された光源像がそれぞれ形成される。具体的には、図15に示すように、第1番目の反射素子列G_{e11}を構成する各反射素子（E_{11a}、～E_{11v}）は、第1番目の反射素子列の中心（各反射素子の中心C_{11a}～C_{11v}）を横切りZ軸と平行な軸A₁を中心に、第1番目の反射素子の列G_{e11}を構成する任意の反射素子がそれぞれ所定量だけ回転させた状態で配列されている。

【0080】例えば、反射素子E_{11a}は、軸A₁を中心に右回り（反時計回り）に所定量（微小量）だけ回転した状態で固設されており、この反射素子E_{11a}は、第1の部分群G_{e21}の第3列目の最も上方の反射素子E₂上において、ある大きさを持つ円形状の光源像I₁を形成する。また、反射素子E_{11r}は、軸A₁を中心に左回り（時計回り）に所定量（微小量）だけ回転した状態で固設されており、この反射素子E_{11r}は、第1の部分群G_{e21}の第1列目の上から2番目の反射素子E₂上において、ある大きさを持つ円形状の光源像I₁を形成する。

【0081】また、反射素子E_{11k}は、軸A₁を中心に右りに回転されることなく固設されており、この反射素子

$E_{1,1}$ は、第1の部分群 $G_{1,1}$ の第2列目の上から4番目の反射素子 $E_{1,1}$ 上において、ある大きさを持つ円形状の光源像 I_1 を形成する。この時の反射素子 $E_{1,1}$ の光軸と第1の部分群 $G_{1,1}$ を構成する各反射素子の光軸とは互いに平行となっている。

【0082】この様な図15に示す構成は、第1の反射素子群20a中の第2番目の反射素子列 $G_{1,1}$ と第2の部分群 $G_{1,2}$ との間、及び第1の反射素子群20a中の第3番目の反射素子列 $G_{1,1}$ と第2の部分群 $G_{1,2}$ との間でも同様である。以上のように、図14及び図15に示す第1及び第2の反射素子(20a、20b)の構成によれば、図9に示した第1及び第2の反射素子(20a、20b)の構成に比べて、第2の反射素子の輪郭(外形)によって大きさのある光源像が遮光されにくい

ため、照明効率を向上させることができる。
【0083】以上の第1及び第2の実施の形態では、多光源形成手段の少なくとも1部を構成する第1の反射素子群中の円弧状の輪郭(外形)を持つ反射素子(E_1 、 E_2)が、その素子の光軸(Ax_1 、 Ax_2)に対して偏心した偏心ミラーで構成されているため、ある像高(光軸からのある高さ)における円弧領域のみでの収差補正をすれば良いため、非偏心反射素子を実設計する場合よりも光学設計上の制約条件が大幅に緩和される。それによって、第1の反射素子群中の反射素子にて発生する収差を十分に抑えることができる。従って、マスク5等の被照射面において、非常に良好なる均一な円弧照明が実現できるという利点がある。

【0084】さらに、コンデンサー光学系も偏心ミラー系で構成することにより、コンデンサー光学系にて発生する収差も十分に抑えることができるため、以上の利点を相乗的に得ることができる。なお、コンデンサー光学系は1枚の偏心ミラーで構成することができるが、複数枚の偏心ミラーで構成することも可能である。なお、第1及び第2の実施の形態にて示した第1の反射素子群及び第2の反射素子群を独立または一体的に所定方向(反射素子の光軸又はその光軸と直交する方向)へ微小量だけ移動、または第1の反射素子群と第2の反射素子群とのうちの少なくとも一方を微小量だけ傾斜させるように構成すれば、被照射面上に形成される円弧状の照明領域での照度分布等を調整することができる。さらに

は、コンデンサー光学系を構成する少なくとも1つの偏心ミラーを所定方向(コンデンサー光学系の光軸又はその光軸と直交する方向)へ微小量だけ移動、あるいは傾斜させるように構成しても良い。
【0085】また、良好なる照明領域を保ちながら装置をコンパクトに構成するためには、第2の実施の形態における第1の反射素子群20a及びコンデンサー光学系3も前述した条件式(2)を関係を満足することが望ましい事は言うまでもない。さらに、また、以上の各実施の形態では、多光源形成光学系を構成する第1光学素子

や第2の光学素子をそれぞれ反射ミラーで構成した例を示したが、これらを屈折性のレンズ素子で構成しても良い。この場合、第1光学素子を構成するレンズ素子の断面形状は、円弧とすることが良いことは言うまでもない。なお、以上の図9及び図14においては、多数の反射素子(E_1 、 E_2)を隙間がないように稠密に配置して構成した第1光学素子群20a及び第2光学素子群20bをそれぞれ示した。しかしながら、図9(b)及び図14(b)に示す第2光学素子群においては、多数の反射素子 E_2 を必ずしも隙間がないように稠密に配置する必要はない。その理由について述べると、前述したように、第2光学素子群20b上またはその近傍には、各反射素子 E_2 にそれぞれ対応して多数の光源像が形成される。そして、これら光源像が各反射素子 E_2 の有効反射領域内に収まっている限り、光量損失を生じることではない。従って、第2光学素子群20b上またはその近傍において多数の光源像が隙間を持って離散的に形成される場合には、第2光学素子群における多数の反射素子 E_2 は隙間を持って離散的に配置することができる。

【0086】ところで、図17には、図1に示した第1の実施の形態に係るステップ・アンド・スキャン方式により露光動作を行う投影露光装置の変形例を示している。図17に示す投影露光装置は、5nm~20nm程度の軟X線領域の光(EUV光)を用いて、ステップ・アンド・スキャン方式により露光動作を行うものである。なお、図17において、図1に示した同一の機能を持つ部材には同一の符号を付してある。また、図17においては、マスク5の縮小像をウエハ7上に形成する投影系の光軸方向をZ方向とし、このZ方向と直交する紙面内方向をY方向とし、これらYZ方向と直交する紙面垂直方向をX方向とする。また、図17、後述する図18及び図20~図22に示す装置においては、図1及び図8に示したように、投影系6に対してマスクステージMS及び基板ステージWSを相対的に移動させる駆動装置(D_1 、 D_2)及び制御系8は備えているが、これらを図17、図18及び図20~図22にて図示することは省略する。

【0087】さて、図17に示すように、露光装置は、投影原版(マスク)としての反射型マスク5に描画された回路パターンの一部の像を投影系6を介して基板としてのウエハ7上に投影しつつ、マスク5とウエハ7とを投影光学系9に対して1次元方向(Y方向)に相対走査することによって、マスク5の回路パターンの全体をウエハ7上の複数のショット領域の各々にステップアンドスキャン方式で転写するものである。

【0088】ここで、図17に示すように、露光用の照明光である軟X線は、大気に対する透過率が低いため、EUV光が通過する光路は真空チャンバー100により覆われて外気より遮断されている。レーザ光源10は、赤外域~可視域の波長のレーザ光を供給する機能を有

し、例えば半導体レーザ励起によるYAGレーザやエキシマレーザなどを適用できる。このレーザ光は集光光学部材11により集光されて、位置13に集光する。ノズル12は気体状の物体を上記集光位置13へ向けて噴出し、この噴出された物体は位置3において高照度のレーザ光を受ける。このとき、噴出された物体がレーザ光のエネルギーで高温になり、プラズマ状態に励起され、低ポテンシャル状態へ遷移する際にEUV光を放出する。

【0089】この位置3の周囲には、楕円鏡14が配置されており、この楕円鏡14は、その第1焦点が上記集光位置13とほぼ一致するように位置決めされている。楕円鏡14の内表面には、EUV光を反射するための多層膜が設けられており、ここで反射されたEUV光は、楕円鏡14の第2焦点で一度集光した後、放物面鏡（コリメーター反射鏡）15へ向かう。この反射鏡15は、その焦点が楕円鏡14の第2焦点位置とほぼ一致するように位置決めされており、その内表面には、EUV光を反射するための多層膜が設けられている。

【0090】放物面鏡15から射出されるEUV光は、ほぼコリメートされた状態でオプティカルインテグレートとしての反射型フライアイ光学系2へ向かう。なお、集光光学部材11、楕円鏡14及び放物面鏡15によって集光光学系が構成されている。この反射型フライアイ光学系2は、複数の反射面（複数の反射素子E_iの反射面）を集積してなる第1の反射素子群20aと、第1の反射素子群20aの複数の反射面と対応した複数の反射面（複数の反射素子E_jの反射面）を有する第2の反射素子群20bとで構成されている。これら第1及び第2の反射素子群20a、20bを構成する複数の反射面上にもEUV光を反射させるための多層膜が設けられてい

る。

【0091】ここで、反射型フライアイ光学系2を構成する一方の第2反射素子群120bの反射面位置またはその近傍の位置には、反射型マスク5を照明する光束の開口数（照明系の開口数）を可変とするための第1の可変開口絞りAS1が設けられている。この第1の可変開口絞りAS1は、ほぼ円形状の可変の開口部を有しており、第1の駆動系DR1によって、第1の可変開口絞りAS1の開口部の開口径が可変となっている。

【0092】さて、放物面鏡15からのコリメートされたEUV光は、第1の反射素子群20aにより波面分割され、各々の反射面からのEUV光が集光されて複数の光源像が形成される。これら複数の光源像が形成される位置の近傍のそれぞれには、第2の反射素子群20bの複数の反射面が位置決めされており、これら第2の反射素子群20bの複数の反射面は、実質的にフィールドミラーの機能を果たす。このように、反射型フライアイ光学系2は、放物面鏡15からの略平行光束に基づいて、2次光源としての多数の光源像を形成する。

【0093】さて、反射型フライアイ光学系2により形

成された2次光源からのEUV光は、この2次光源位置の近傍が焦点位置となるように位置決めされたコンデンサミラー3へ向かい、このコンデンサミラー3にて反射集光された後に、光路折り曲げミラー4を介して、反射型マスク5上に達する。これらコンデンサミラー3及び光路折り曲げミラーの表面には、EUV光を反射させる多層膜が設けられている。そして、コンデンサミラー3は、2次光源から発するEUV光を集光して、反射型マスク5上の所定の照明領域を重畳的に均一照明する。

【0094】そして、反射型マスク5上には、EUV光を反射する多層膜のパターンが設けられており、この反射型マスク5から反射したEUV光が投影系6によって結像されることにより、反射型マスク5の像が感光性基板としてのウエハ7上に転写される。なお、本実施形態では、反射型マスク5へ向かう照明光と、該反射型マスク5にて反射されて投影系6へ向かうEUV光との光路分離を空間的に行うために、照明系は非テレセントリック系であり、かつ投影系6もマスク側非テレセントリックな光学系としている。

【0095】また、投影系6の構成は、図1に示した投影系6の構成と同一であるため説明を省略するが、図17に示す投影系6を構成する4枚のミラー（6a～6d）の表面には、EUV光を反射させる多層膜が設けられている。ところで、図17における投影系6の瞳位置またはその近傍に配置にはミラー6cが配置されているが、このミラー6cの反射面またはその近傍には、投影系6の開口数を可変とする第2の可変開口絞りAS2が設けられている。この第2の可変開口絞りAS2は、ほぼ円形状の可変の開口部を有しており、第2の駆動系DR2によって、第2の可変開口絞りAS2の開口部の開口径が可変となっている。

【0096】ここで、照明系の開口数と投影系6の開口数との比（コヒーレンスファクター又は σ 値）を可変にすることについて説明する。なお、 σ 値とは、照明系の開口数をNA1とし、投影系6の開口数をNA2とすると、 $\sigma = NA1 / NA2$ で定義される。ウエハ7に転写するパターンの微細度やウエハ7に転写するパターンのプロセスによっては、照明系の開口数と投影系6の開口数との比を可変にして、投影系6の解像力や焦点深度等を調整することが必要となる。このため、不図示の搬送装置によってウエハステージWS（図17では図示していない）に順次載置される各ウエハ毎の露光条件に関する露光情報（露光情報を含むウエハの搬送マップ等）、及びマスクステージMS上に順次載置される各種のマスクの載置情報は、コンソール等の入力装置IUを介して、制御装置MCUに入力される。制御装置MCUは、ウエハステージWS（図17では図示していない）上にウエハ7が載置される毎に、入力装置IUからの入力情報に基づいて、照明系の開口数と投影系6の開口数との比を変更するか否かを判別する。もし、制御装置MCU

は、照明系の開口数と投影系 6 の開口数との比を変更する必要があると判断すると、制御装置MCUは、2つの駆動系（DR1、DR2）の内の少なくとも一方を駆動させて、第1の開口絞りAS1と第2の可変開口絞りAS2との内の少なくとも一方の開口径を可変とする。これにより、様々な露光条件のもとで適切な露光が達成できる。

【0097】なお、第1の開口絞りAS1の開口径を可変とすることに応じて、反射鏡15をこれとは異なる焦点距離を持つ反射鏡に交換することが望ましい。これにより、第1の開口絞りAS1の開口部の大きさに応じて、反射型フライアイ光学系2に入射するEUV光の光束径を変化させることができ、高照明効率を保ちながら適切な σ 値のもとでの照明が可能となる。

【0098】また、図17に示す露光装置において、反射型マスク5上またはウエハ7上での光照度分布が傾斜するような不均一な分布となっている場合には、反射型フライアイ光学系2に入射するEUV光等の光束を、反射素子群20aを横切るように、偏心させることによって光照度分布の傾きを補正することが可能である。例えば、放物面鏡15を僅かに偏心させることにより、光照度分布の傾きが補正できる。すなわち、反射型マスク5の表面又はウエハ表面上に形成される円弧状の照明領域の左右方向（X方向）において光照度分布の傾きが生じている場合には、放物面鏡15をX方向へ移動させることにより、光照度分布の傾きを補正することができる。また、反射型マスク5の表面又はウエハ表面上に形成される円弧状の照明領域の幅方向（Z方向）における中央部と周辺部とで照度が異なる場合には、放物面鏡15をZ方向へ移動させることにより、光照度分布の傾きを補正することができる。

【0099】なお、第1の開口絞りAS1と第2の可変開口絞りAS2との内の少なくとも一方の開口径を可変とすることにより、ウエハ7やマスク5に形成される円弧状の照明領域の照明ムラ等の発生に伴う照明状態が悪化することがある。この時には、放物面鏡15、反射型フライアイ光学系2及びコンデンサーミラー3の内の少なくとも1つの光学部材を僅かに移動させて、円弧状の照明領域の照明ムラ等を補正することが望ましい。

【0100】さて、次に、図18を参照しながら図17に示した投影露光装置の第1の変形例を説明する。図18において、図17に示す部材と同じ機能を持つ部材には同じ符号を付してある。前述の図17に示した露光装置と図18に示す露光装置との第1の差異は、反射型フライアイ光学系2を構成する一方の第2反射素子群20bの反射面位置またはその近傍の位置に配置された第1の開口絞りAS1の代わりに、図19に示すように、互いに形状や大きさが異なる複数の開口絞り（50a～50f）が形成されたターレット板51を設け、第1駆動系DR1によって所定の回転軸52を中心としてターレ

ット板51を回転可能に設けた点である。

【0101】また、図17に示した露光装置に対する第2の差異は、放物面鏡15と反射型フライアイ光学系2を構成する一方の第1反射素子群20aとの間の光路中において、円形状の光束断面を持つEUV光を輪帯状（リング状）の光束断面を有するEUV光に変換する輪帯光束変換ユニット60が照明光路に対して挿脱可能に設けられてい点である。

【0102】この輪帯光束変換ユニット60は、リング状の反射面を持つ第1反射部材60a及び円錐状の反射面を持つ第2反射部材60bとを有している。反射型フライアイ光学系2に入射する輪帯状（リング状）のEUV光における輪帯の内径と輪帯の外径との比（所謂、輪帯比）を可変とするために、第1反射部材60aと第2反射部材60bとは、照明光路に沿って相対的に移動可能に設けられている。

【0103】なお、照明光路に対する輪帯光束変換ユニット60の挿脱及び照明光路に沿った第1反射部材60aと第2反射部材60bとの相対移動は、第3駆動系DR3によって行われる。ここで、図18及び図19を参照しながら、ターレット板51及び輪帯光束変換ユニット60について詳述する。

【0104】複数の開口絞りを有するターレット板51は、図19に示す如く、所定の軸52を中心として回転可能に設けられている。図示の如く、ターレット板51上には、それぞれ開口部の形状が異なる開口絞り50a～50fが設けられている。ここで、開口絞り50aは、輪帯形状（ドーナツ状）の開口部を持つ開口絞りであり、開口絞り50bと開口絞り50eとは、それぞれ開口径の異なる円形状の開口部を持つ開口絞りである。また、開口絞り50cは、4つの扇形の開口部を有する開口絞りであり、開口絞り50dは、4つの円形状の開口部を有する開口絞りである。そして、開口絞り50fは、開口絞り50aとは異なる輪帯比（輪帯形状の開口部の外径と内径との比率）を持つ開口絞りである。

【0105】図18において、入力装置IUは、マスク5やウエハ7上での照明方法の選択するために必要な情報を入力するためのものである。例えば、入力装置IUは、ウエハ7に転写するパターンの微細度やウエハ7に転写するパターンのプロセスに応じて、不図示の搬送装置によって順次載置される各ウエハ毎の露光条件に関する露光情報（露光情報を含むウエハの搬送マップ等）、及びマスクステージMS上に順次載置される各種のマスクの載置情報を入力するためのものである。

【0106】図18に示す例では、入力装置IUからの入力情報に基づいて、制御装置MCUは、「第1の輪帯照明」、「第2の輪帯照明」、「第1の通常照明」、「第2の通常照明」、「第1の特殊傾斜照明」及び「第2の特殊傾斜照明」の選択が可能となっている。ここで、「輪帯照明」とは、反射型フライアイ光学系2によ

って形成される2次光源の形状を輪帯状（ドーナツ状）にすることによって、反射型マスク6及びウエハ7に対してEUV光を斜め方向から照明し、これによって、投影系6が本来持つ解像力及び焦点深度を向上させようとするものである。また、「特殊傾斜照明」とは、反射型フライアイ光学系2によって形成される2次光源をその中心から所定の距離だけ偏心した離散的な複数の偏心光源にすることによって、反射型マスク6及びウエハ7に対してEUV光を斜め方向から照明し、投影系6が本来持つ解像力及び焦点深度をより一層向上させようとするものである。また、「通常照明」とは、反射型フライアイ光学系2によって形成される2次光源の形状をほぼ円形状にすることによって、最適な σ 値のもとでマスク5やウエハ7上を照明しようとするものである。

【0107】さて、制御装置MCUは、入力装置IUからの入力情報に基づいて、ターレット板51を回転させる第1駆動系DR1と、投影系6の開口絞りAS2の開口径を変化させる第2駆動系DR2と、輪帯光束変換ユニット60を照明光路に対する挿脱及び輪帯光束変換ユニット60における2つの反射部材（60a、60b）との相対間隔を変化させる第3駆動系DR3との制御を行なう。

【0108】以下、この制御装置MCUの動作について詳述する。マスク5上での照明状態を通常照明に設定する場合には、制御装置MCUは、入力装置IUからの入力情報に基づいて、「第1の通常照明」または「第2の通常照明」を選択する。ここで、「第1の通常照明」と「第2の通常照明」との違いは、 σ 値が異なる点である。

【0109】例えば、制御装置MCUが「第1の通常照明」を選択した場合には、制御装置MCUは、反射型フライアイ光学系2の一方を構成する第2光学素子群20bの射出側に形成される2次光源（多数の光源像）の位置に開口絞り50eが位置するように、第1駆動系DR1を駆動してターレット板51を回転させる。これと同時に、制御装置MCUは、必要に応じて、第2駆動系DR2を介して投影系6中の第2の開口絞りの開口径を変化させる。この時、輪帯光束変換ユニット60が照明光路中に設定されている場合には、制御装置MCUは、第3駆動系DR3を介して輪帯光束変換ユニット60を照明光路から退避させる。

【0110】以上に述べた照明系の設定状態のもとで、EUV光を反射型マスク5のパターンを照明すると、適切な「第1の通常照明」の条件（適切な σ 値）のもとで、反射型マスク5のパターンを投影系6を介して感光性基板（ウエハ）7に露光することができる。また、制御装置MCUが「第2の通常照明」を選択した場合には、制御装置MCUは、反射型フライアイ光学系2の一方を構成する第2光学素子群20bの射出側に形成される2次光源（多数の光源像）の位置に開口絞り50bが

位置するように、第1駆動系DR1を駆動してターレット板51を回転させる。これと同時に、制御装置MCUは、必要に応じて、第2駆動系DR2を介して投影系6中の第2の開口絞りの開口径を変化させる。この時、輪帯光束変換ユニット60が照明光路中に設定されている場合には、制御装置MCUは、第3駆動系DR3を介して輪帯光束変換ユニット60を照明光路から退避させる。

【0111】以上に述べた照明系の設定状態のもとで、EUV光を反射型マスク5のパターンを照明すると、適切な「第2の通常照明」の条件（第1の通常照明の時よりも大きな σ 値）のもとで、反射型マスク5のパターンを投影系6を介して感光性基板（ウエハ）7に露光することができる。なお、図17の例で述べたように、図18の例においても、第1の開口絞りAS1の開口径を可変とすることに応じて、反射鏡15をこれとは異なる焦点距離を持つ反射鏡に交換することが望ましい。これにより、第1の開口絞りAS1の開口部の大きさに応じて、反射型フライアイ光学系2に入射するEUV光の光束径を変化させることができ、高照明効率を保ちながら適切な σ 値のもとでの照明が可能となる。

【0112】また、反射型マスク5に対する照明を傾斜照明に設定する場合には、制御装置MCUは、入力装置IUからの入力情報に基づいて、「第1の輪帯照明」、「第2の輪帯照明」、「第1の特殊傾斜照明」及び「第2の特殊傾斜照明」のうちの何れかに1つを選択する。ここで、「第1の輪帯照明」と「第2の輪帯照明」との違いは、輪帯状に形成される2次光源の輪帯比が異なる点である。また、「第1の特殊傾斜照明」と「第2の特殊傾斜照明」との違いは、2次光源の分布が異なる点である。すなわち、「第1の特殊傾斜照明」における2次光源は、4つの扇状の領域に分布しており、「第2の特殊傾斜照明」における2次光源は、4つの円形状の領域に分布している。

【0113】例えば、「第1の輪帯照明」が選択された場合には、制御装置MCUは、反射型フライアイ光学系2の一方を構成する第2光学素子群20bの射出側に形成される2次光源（多数の光源像）の位置に開口絞り50aが位置するように、駆動系DR1を駆動させてターレット板51を回転させる。また、「第2の輪帯照明」が選択された場合には、制御装置MCUは、反射型フライアイ光学系2の一方を構成する第2光学素子群20bの射出側に形成される2次光源（多数の光源像）の位置に開口絞り50fが位置するように、駆動系DR1を駆動させてターレット板51を回転させる。また、「第1の特殊傾斜照明」が選択された場合には、制御装置MCUは、反射型フライアイ光学系2の一方を構成する第2光学素子群20bの射出側に形成される2次光源（多数の光源像）の位置に開口絞り50cが位置するように、駆動系DR1を駆動させてターレット板51を回転させ

る。また、「第2の特殊傾斜照明」が選択された場合には、制御装置MCUは、反射型フライアイ光学系2の一方を構成する第2光学素子群20bの射出側に形成される2次光源（多数の光源像）の位置に開口絞り50dが位置するように、駆動系DR1を駆動させてターレット板51を回転させる。

【0114】以上の4つの開口絞り（50a、50c、50d、50f）のうちのいずれか1つが照明光路中に設定されると、これと同時に、制御装置MCUは、必要に応じて、第2駆動系DR2を介して投影系6中の第2の開口絞りの開口径を変化させる。次に、制御装置MCUは、第3駆動系DR3を介して、輪帯光束変換ユニット60の照明光路への設定及び輪帯光束変換ユニット60の調整を行う。この輪帯光束変換ユニット60の設定及び調整の動作は以下に行われる。

【0115】まず、輪帯光束変換ユニット60が照明光路中に設定されていない場合には、制御装置MCUは、第3駆動系DR3を介して輪帯光束変換ユニット60を照明光路中へ設定する。次に、反射型フライアイ光学系2の一方を構成する第2光学素子群20bの射出側に設定された4つの開口絞り（50a、50c、50d、50f）の内の1つの開口絞りの開口部に輪帯光束が効率良く導かれるように、制御装置MCUは、第3駆動系DR3を介して、輪帯光束変換ユニット60中の2つの反射部材（60a、60b）の相対的な間隔を変化させる。これによって、輪帯光束変換ユニット60は、これに入射する光束を適切な輪帯比を持つ輪帯光束に変換することができる。

【0116】以上の輪帯光束変換ユニット60の設定及び調整によって、反射型フライアイ光学系2に形成される2次光源は、4つの開口絞り（50a、50c、50d、50f）の各々の開口部に見合った適切な輪帯比を持つ輪帯状の2次光源とすることができるため、高い照明効率のもとで反射マスク及びウエハ7を傾斜照明することができる。

【0117】なお、ターレット板51の回転によって互いに形状や大きさが異なる複数の開口絞り（50a～50f）が照明光路内に設定された場合、ウエハ7やマスク5に形成される円弧状の照明領域の照明ムラ等の照明状態が変化することがある。この時には、放物面鏡15、反射型フライアイ光学系2及びコンデンサーミラー3の内の少なくとも1つの光学部材を僅かに移動させて、円弧状の照明領域の照明ムラを補正することが望ましい。

【0118】また、図18に示す例では、入力装置IUを介して照明条件等の情報を制御装置MCUに入力しているが、反射マスク5上の情報を読み取る検知部を設けても良い。このとき、レチクルRの回路パターン領域外の位置に、例えばバーコード等で照明方法に関する情報を記録する。検知部は、この照明条件に関する情報を

読み取って、制御装置MCUへ伝達する。制御装置MCUは、照明条件に関する情報に基づいて、上述の如く、3つの駆動装置（DR1～DR3）を制御する。

【0119】また、図18に示す例においては、反射型フライアイ光学系2によって形成される2次光源の位置に開口絞りを設けているが、4つの偏心開口を持つ開口絞り（50c、50d）による照明を不要とし、「輪帯照明」及び「通常照明」を行う場合には、ターレット板51に形成されている多数の開口絞りは、本発明の原理から容易に理解できるように本発明の必須のものではない。

【0120】また、光束変換ユニット60において、第1反射部材60aの反射面を互に対向かつ互いに傾斜配置された2対の平面ミラー素子で構成し、第2反射部材60aの反射面を四角柱状に構成することによって、偏心した4つの光束を形成することができる。これにより、反射型フライアイ光学系2によって形成される2次光源をその中心から偏心した4極の2次光源とすることができる。従って、4つの偏心開口を持つ開口絞り（50c、50d）の開口部に見合うようにEUV光を導くことができる。

【0121】さて、次に、図20を参照しながら図17に示した投影露光装置の第2の変形例を説明する。なお、図17に示す部材と同じ機能を持つ部材には同じ符号を付してある。また、図20、後述する図21及び図22に示す装置においては、図17及び図18に示したように、各部材及び各システム（AS1又は51、AS2、DR1、DR2、IU、MCU）を備えているが、これらを図20～図22にて図示することは省略する。

【0122】前述の図17に示した露光装置と図20に示す露光装置との差異は、コリメートミラーとしての反射鏡15とオブティカルインテグレータ（多光源形成光学系）2としての反射型フライアイ光学系2との光路中に、補助オブティカルインテグレータ（補助多光源形成光学系）としての補助反射型フライアイ光学系120、及びリレー光学系としてのリレーミラー110とをそれぞれ配置した点である。なお、光源側からの配置順序からみれば、補助反射型フライアイ光学系120を第1反射型フライアイ光学系（第1オブティカルインテグレータ、第1多光源形成光学系）とし、主反射型フライアイ光学系120を第2反射型フライアイ光学系（第2オブティカルインテグレータ、第2多光源形成光学系）として見ることもできる。

【0123】図20に示す補助反射型フライアイ光学系120は、第1補助反射素子群120a、および第2補助反射素子群120bとを有している。ここで、補助反射型フライアイ光学系120の入射側に配置される第1補助反射素子群120aを構成する多数の反射素子E_{120a}は、図9(a)や図14(a)に示す様に、主反射型フライアイ光学系2の入射側に配置されている第1反

射素子群 20a の全体形状 (外形) と相似な形状で形成されることが望ましい。しかし、第 1 補助反射素子群 120a を構成する多数の反射素子 E_{120a} を図 9 (a) 及び図 14 (b) に示すような形状で構成すると、各反射素子 E_{120a} を隙間の無いように稠密に配置することが困難となる。このため、図 23 (a) に示すように、第 1 補助反射素子群 120a を構成する多数の反射素子 E_{120a} は、ほぼ正方形となる形状でそれぞれ構成されている。また、図 23 (a) に示すように、第 1 補助反射素子群 120a に入射する光束の断面はほぼ円形状となるため、この第 1 補助反射素子群 120a の全体形状 (外形) がほぼ円形となるように、多数の反射素子 E_{120a} は配列されている。これにより、第 1 補助反射素子群 120a は高い照明効率のもとで多数の光源像 (2 次光源) を第 2 補助反射素子群 120b の位置またはその近傍に形成することができる。

【0124】また、補助反射型フライアイ光学系 120 の射出側に配置される第 2 補助反射素子群 120b の全体形状 (外形) は、図 9 (b) や図 14 (b) に示す様に、主反射型フライアイ光学系 2 の射出側に配置されている第 2 反射素子群 20b を構成する各反射素子 E_{120b} の形状とそれぞれ相似な形状で形成されることが望ましい。さらに、第 2 補助反射素子群 120b を構成する各反射素子 E_{120b} は、これに対応する第 1 補助反射素子群 120a 中の反射素子 E_{120a} によって形成される光源像の形状と相似または光源像を全て受けるような形状であることが望ましい。

【0125】ここで、図 20 に示す例では、主反射型フライアイ光学系 2 は図 14 に示される構成であるものとする。このため、主反射型フライアイ光学系 2 の射出側に配置されている第 2 反射素子群 20b を構成する多数の反射素子 E_{20b} は、図 14 (b) に示すように、ほぼ正方形の形状を有している。従って、補助反射型フライアイ光学系 120 中の第 1 補助反射素子群 120a を構成する多数の反射素子 E_{120a} の各々によって形成される光源像をほぼ円形であるため、補助反射型フライアイ光学系 120 の射出側に配置される第 2 補助反射素子群 120b の各反射素子 E_{120b} の形状は、図 23 (b) に示すように、ほぼ正方形に構成されている。また、主反射型フライアイ光学系 2 の射出側に配置されている第 2 反射素子群 20b を構成する各反射素子 E_{20b} の形状は図 14 (b) に示すようにほぼ正方形であるため、補助反射型フライアイ光学系 120 の射出側に配置される第 2 補助反射素子群 120b の全体形状 (外形) は、図 23 (b) に示すように、ほぼ正方形となるように多数の反射素子 E_{120b} が配列されている。

【0126】このように、図 20 に示す例では、第 1 及び第 2 補助反射素子群 (120a、120b) を同じ反射素子群で構成することができるため、反射素子群の共用化により、製造コストを抑えることができる。なお、

図 20 に示す主反射型フライアイ光学系 120 のマスク側の第 2 反射素子群 20b 及びコンデンサーミラー (コンデンサー光学系) 3 は、前述した条件式 (2) の関係を満足している。

【0127】次に、2 つの反射型フライアイ光学系 (2、120) を配置したことによる作用について説明する。この 2 つの反射型フライアイ光学系 (2、120) の配置によって、補助反射型フライアイ光学系 120 を構成する一方の反射素子群の反射素子の数 N と主反射型フライアイ光学系 2 を構成する一方の反射素子群の反射素子の数 M との積 ($N \times M$) に対応する数の光源像が、主反射型フライアイ光学系 2 を構成する一方の第 2 反射素子群 20b の表面またはその近傍に形成される。従って、主反射素子群 20b の表面またはその近傍には、補助反射型フライアイ光学系 120 により形成される光源像 (2 次光源) よりもより一層多くの光源像 (3 次光源) が形成される。そして、主反射型フライアイ光学系 2 からの 3 次光源からの光は、反射マスク 5 及びウエハを重畳的に円弧状に照明するため、図 20 に示す装置では、反射マスク 5 及びウエハ 7 上に形成される円弧状の照明領域での照度分布をより均一とすることができ、より一層、安定した露光が実現できる。

【0128】なお、2 つの反射型フライアイ光学系 (2、120) の間に配置されたリレーミラー (リレー光学系) 110 は、補助反射型フライアイ光学系 120 からの多数の光源像 (2 次光源) からの光束を集光して主反射型フライアイ光学系 2 へ導いている。そして、リレーミラー (リレー光学系) 110 は、補助反射型フライアイ光学系 120 における光源側の反射素子群のほぼ表面と主反射型フライアイ光学系 120 における光源側の反射素子群のほぼ表面とを光学的に共役する機能を担っている。また、リレーミラー (リレー光学系) 110 は、補助反射型フライアイ光学系 120 におけるマスク側の反射素子群のほぼ表面と主反射型フライアイ光学系 120 におけるマスク側の反射素子群のほぼ表面とを光学的に共役とする機能を担っている。但し、補助反射型フライアイ光学系 120 における光源側の反射素子群のほぼ表面、及び主反射型フライアイ光学系 120 における光源側の反射素子群のほぼ表面は、被照射面としてのマスク 5 またはウエハ 7 と光学的に共役な位置にあり、また、補助反射型フライアイ光学系 120 におけるマスク側の反射素子群のほぼ表面、及び主反射型フライアイ光学系 120 におけるマスク側の反射素子群のほぼ表面は、投影系 6 の瞳または開口絞り AS の位置と光学的に共役な位置にある。

【0129】ここで、図 20 に示した装置において、反射マスク 5 及びウエハ 7 上に形成される円弧状の照明領域での照度分布が傾斜している場合には、補助反射型フライアイ光学系 120 を移動 (2 つの反射素子群を一体的に移動) させることが望ましい。すなわち、主反射型フ

ライアイ光学系2中の2つの反射素子群(120a、120b)をX方向またはZ方向に偏心させると、主反射型フライアイ光学系2が有するコマ収差の作用によって、照度分布の傾斜成分が補正でき、フラットな照度分布を得ることができる。

【0130】例えば、反射型マスク5の表面又はウエハ表面上に形成される円弧状の照明領域の左右方向(X方向)において照度分布の傾きが生じている場合には、補助反射型フライアイ光学系120をX方向へ移動させることにより、照度分布の傾きを補正することができる。また、反射型マスク5の表面又はウエハ表面上に形成される円弧状の照明領域の幅方向(Z方向)における中央部と周辺部とで照度が異なる場合には、補助反射型フライアイ光学系120をZ方向へ移動させることにより、照度分布の傾きを補正することができる。

【0131】さて、図20に示す露光装置が正常に反射型マスク5の像をウエハ7上に形成するためには、投影系6の入射瞳中央に、照明系の射出瞳の像(第2の反射型フライアイ光学系2により形成される3次光源の像)を無収差の状態で形成することが望まれる。この条件が満足されない場合には、照明系の射出瞳の位置を動かして、照明系のテレセン性の調整を行って、投影系6の入射瞳の位置との整合をとることが望ましい。例えば、主反射型フライアイ光学系(2つの反射素子群20a、20b)2及び第1の開口絞りAS1を一体的に移動させることにより、照明系のテレセン性の調整が行われ、投影系6の入射瞳の中央に照明系の射出瞳像の中央を一致させることができる。但し、主反射型フライアイ光学系2により形成される3次光源の位置に開口絞りAS1を設ける必要がない場合には、主反射型フライアイ光学系2中の2つの反射素子群(120a、120b)を一体的に移動させれば良い。

【0132】なお、以上にて説明した図17及び図18に示した例において、投影系6の入射瞳中央に照明系の射出瞳の像を合わせるためには、反射型フライアイ光学系(2つの反射素子群20a、20b)2及び第1の開口絞りAS1を一体的に移動させることにより、投影系6の入射瞳の中央に照明系の射出瞳像の中央を一致させることができる。また、図17及び図18に示した反射型フライアイ光学系2により形成される2次光源の位置に開口絞りAS1を設ける必要がない場合には、反射型フライアイ光学系中の2つの反射素子群(20a、20b)を一体的に移動させれば良い。

【0133】ところで、以上にて説明した図17、図18及び図20に示した例において、反射型フライアイ光学系2にEUV光を供給する光源部(10~15)は、実際上において、相当の体積を必要とするために、露光装置本体部(反射型フライアイ光学系2からウエハ7までの光学系及び制御システム)と同等あるいはそれ以上の体積となる可能性がある。このため、光源部(10~

15)と露光装置本体部とをそれぞれ独立に分離して、光源部(10~15)と露光装置本体部とを独立の基盤に設置される可能性がある。この場合、作業者の歩行等による床の振動や光源部(10~15)と露光装置本体部との自重によって床に歪みが生じる場合には、光源部(10~15)の光軸と露光装置本体部内の光学系の光軸とがずれ、調整状態が狂ってしまう恐れがある。

【0134】そこで、露光装置本体部の光路(反射型フライアイ光学系2からウエハ7までの光路)において、光源部(10~15)の光軸ずれを光電的に検出する光電検出器を配置し、コリメートミラーとしての反射鏡15の傾きを調整可能に構成し、さらに、上記光電検出器からの出力に基づいて、反射鏡15の傾きを制御する制御部を設けることが望ましい。これにより、作業者の歩行等による床の振動や床に歪みが生じたとしても、光源部(10~15)の光軸と露光装置本体部内の光学系の光軸と自動的に合致させることができる。

【0135】さて、軟X線用のミラーは、可視光のように高反射率を得ることが難しい。このため、軟X線用の露光装置においては、光学系を構成するミラーの数を減らすことが望まれる。そこで、ミラーの数を減らす1つの手法として、図9(b)及び図14(b)に示す反射型フライアイ光学系2を構成する一方の第2反射素子群10bを全体に湾曲させることで、コンデンサーミラー3を構成を省略することができる。すなわち、図9(b)及び図14(b)に示す第2反射素子群10bを、所定の曲率を持つ基準球面(基準曲面)内に沿って多数の反射素子E_iを配列した構成とすることにより、この第2反射素子群10bにコンデンサーミラー3の機能を兼用させることができる。ここで、図21は、図8、図17及び図18に示した反射型フライアイ光学系2を構成する一方の第2反射素子群20bにコンデンサーミラー3の機能を兼用させた第2反射素子群20cを示している。なお、図20に示した主反射型フライアイ光学系2のマスク側の第2反射素子群20bの構成を図21に示したように変更することにより、図20に示す第2反射素子群20bにコンデンサーミラー3の機能を兼用させることも可能である。なお、図21における投影系6は、結像性能をより一層良好とするために6枚のミラー(6a~6f)で構成している。

【0136】ところで、図17、図18、図20及び図21に示した例においては、レーザー・プラズマ光源を用いた露光装置を示しているが、このレーザー・プラズマ光源の欠点としては、デブリと呼ばれる微小な物質の飛沫を生ずることである。この微細な飛沫により光学部品が汚染されると、光学系の性能(ミラーの反射率及び反射の均一性)が劣化する。このため、光源部と露光装置本体部との間には、軟X線のみを透過させ飛散粒子を透過させないフィルターを配置することが望ましい。このフィルターとしては、メンブレンと呼ばれる軽元素の

薄膜が用いることが良い。

【0137】そこで、図17、図18、図20及び図21に示した露光装置に対してデブリを防止用のフィルター16を設けた例を図22に示している。図22に示すように、楕円鏡14とコリメート鏡15との間にデブリを防止用のフィルター16を設ければ、デブリによる汚染が発生したとしても、楕円鏡14とフィルター16とをそれぞれ新しいものに交換することで済むため、ランニングコストを低くおさえることができる。

【0138】ところで、また、前述したように、軟X線は、大気に対する透過率が低いため、図17、図18、図20及び図21に示した露光装置は真空チャンパー100に覆われている。しかしながら、光学部品に溜まった熱が逃げにくく、それによってミラー面が歪みやすい。従って、真空チャンパー100内の各光学部品にはそれぞれ冷却機構が設けられていることが望ましい。さらに望ましくは、個々のミラーに対して複数の冷却機構が複数取り付けられており、ミラー内の温度分布をコントロールできれば、露光動作時のミラーの歪みをより抑えることができる。

【0139】また、図17、図18、図20及び図21に示した露光装置における光学系を構成する各ミラーの反射面には多層膜が設けられているが、この多層膜は、モリブデン、ルテニウム、ロジウム、珪素、珪素酸化物のうちの複数の物質を積層させて形成されることが好ましい。

【0140】

【発明の効果】以上の如く、本発明によれば、照明光の開口数をほぼ一定に保ちながら、被照明面を円弧状に効率良くかつ均一に照明することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による第1の実施の形態に係る露光装置の概略構成図である。

【図2】図1に示す反射素子群2の構成を示す正面図である。

【図3】(a)は図3は図2に示した反射素子群2中の各反射素子の様子を示す正面図であり、(b)は(a)に示した反射素子の断面形状の様子を示す断面図である。

【図4】反射型マスク5上に形成される円弧状の照明領域IFの様子を示す図である。

【図5】図1に示した反射素子群2の作用を示す図である。

【図6】(a)は反射素子群2中の各反射素子を非球面形状としたときの反射素子の断面形状の様子を示す断面図であり、(b)は(a)に示した反射素子の正面図である。

【図7】コンデンサーミラーを非球面形状としたときのコンデンサーミラーの断面形状の様子を示す断面図であ

る。

【図8】本発明による第2の実施の形態に係る露光装置の概略構成を示す図である。

【図9】(a)は第1の反射素子群20aの構成を示す正面図であり、(b)は第2の反射素子群20bの構成を示す正面図である。

【図10】(a)は図9の(a)に示した第1の反射素子群20a中の各反射素子の様子を示す正面図であり、(b)は(a)に示した反射素子の断面形状の様子を示す断面図である。

【図11】(a)は図9の(b)に示した第2の反射素子群20b中の各反射素子の様子を示す正面図であり、(b)は(a)に示した反射素子の断面形状の様子を示す断面図である。

【図12】図8に示した第1及び第2の反射素子群の作用を示す図である。

【図13】図8に示した第2の実施の形態に係る露光装置の変形例を示す図である。

【図14】(a)は図9の(a)に示した第1の反射素子群20aの変形例の様子を示す正面図であり、(b)は図9の(b)の第2の反射素子群20bの変形例の様子を示す正面図である。

【図15】図14に示した第1及び第2の反射素子群(20a、20b)の作用を示す図である。

【図16】従来の照明装置の構成を示す図である。

【図17】図1に示した第1の実施の形態に係る露光装置の変形例を示す図である。

【図18】図17に示した露光装置の第1の変形例を示す図である。

【図19】図18に示すターレット板51の構成を示す斜視図である。

【図20】図17に示した露光装置の第2の変形例を示す図である。

【図21】図17に示した露光装置の第3の変形例を示す図である。

【図22】図17に示した露光装置の第4の変形例を示す図である。

【図23】(a)は図20の(a)に示した第1の補助反射素子群20aの構成を示す正面図であり、(b)は図20の(b)の第2の補助反射素子群20bの構成を示す正面図である。

【符号の説明】

1… 光源装置

2、20a、20b… 反射素子群

3… コンデンサー光学系

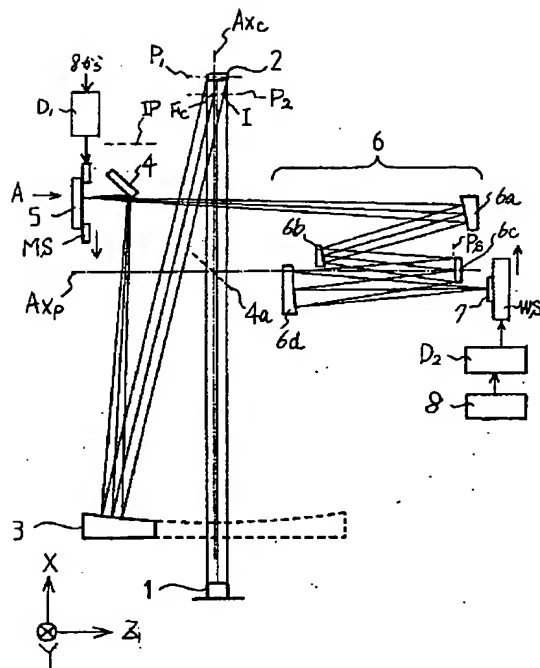
4… 偏向ミラー

5… 反射型マスク

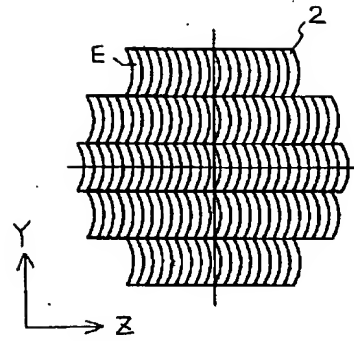
6… 投影系

7… ウエハ

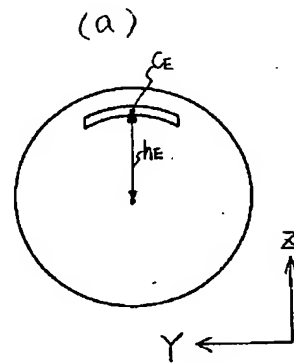
【図1】



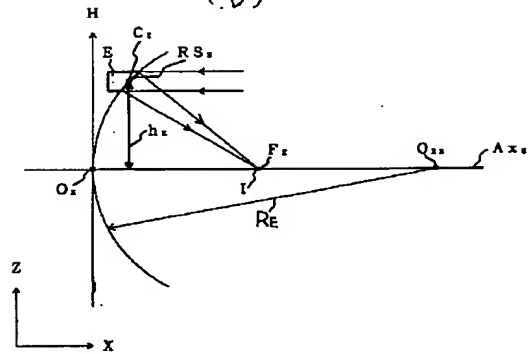
【図2】



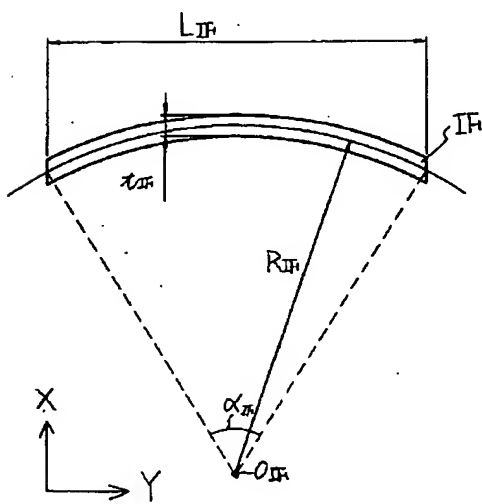
【図3】



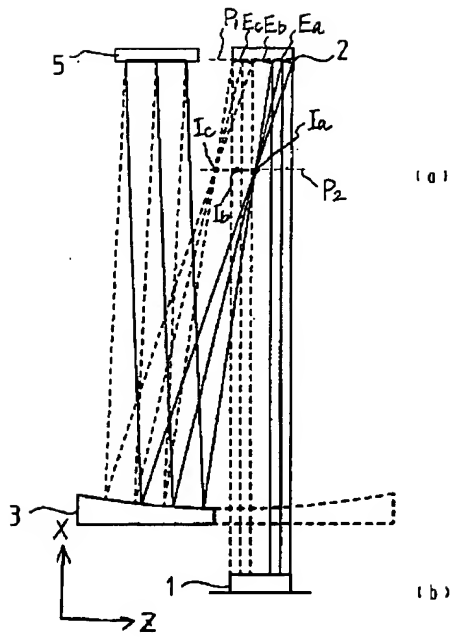
(b)



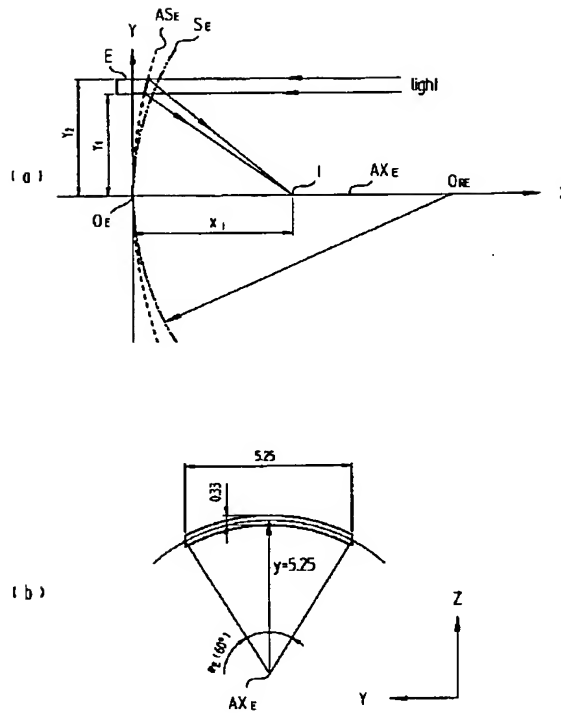
【図4】



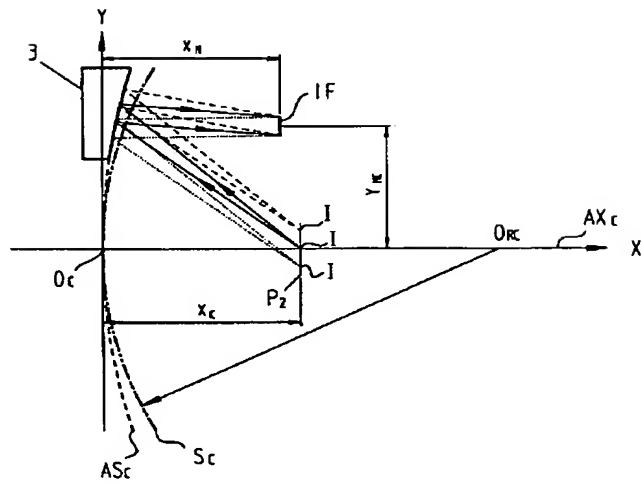
【図 5】



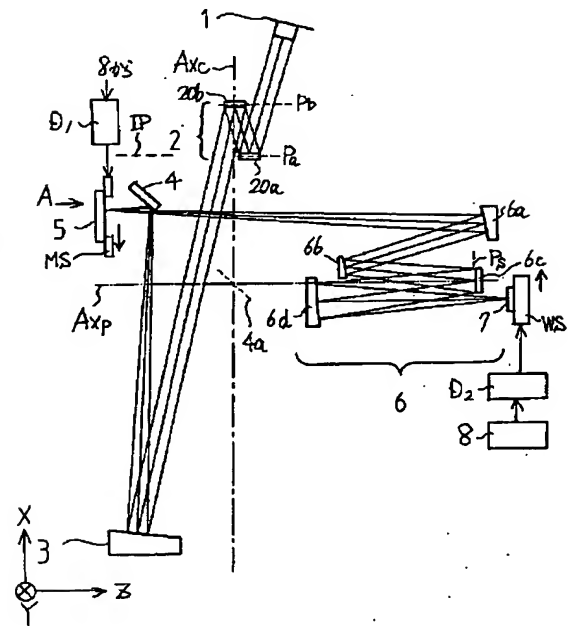
【図 6】



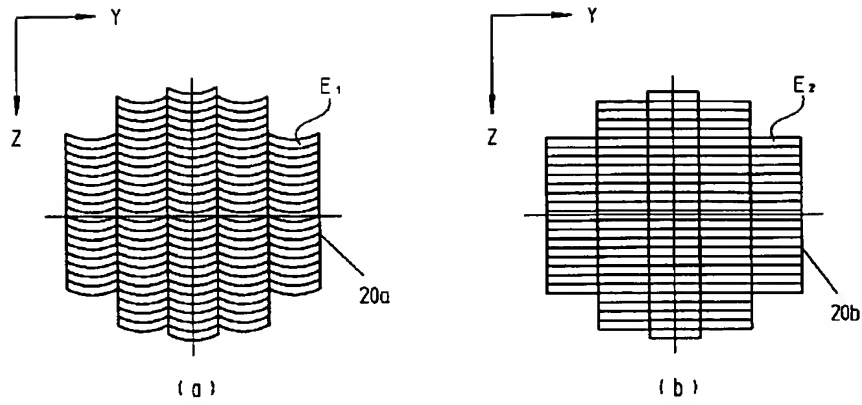
【図 7】



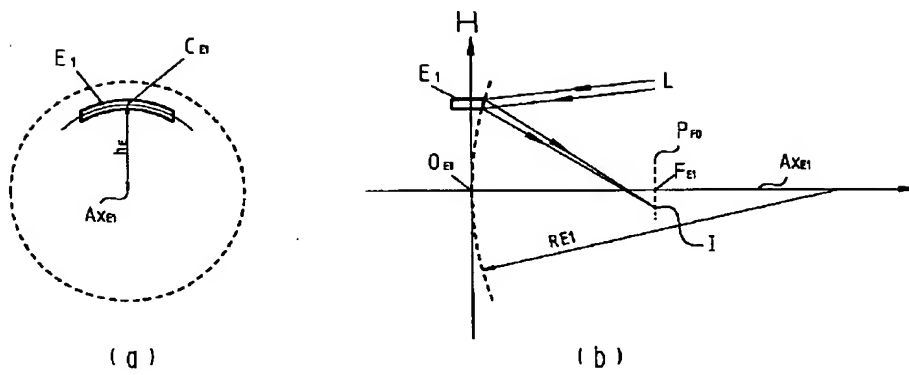
【図 8】



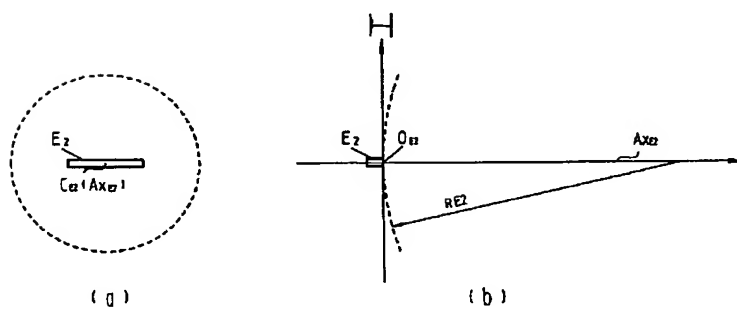
【図 9】



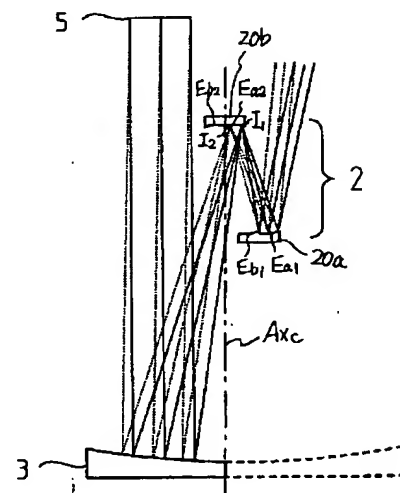
【図 10】



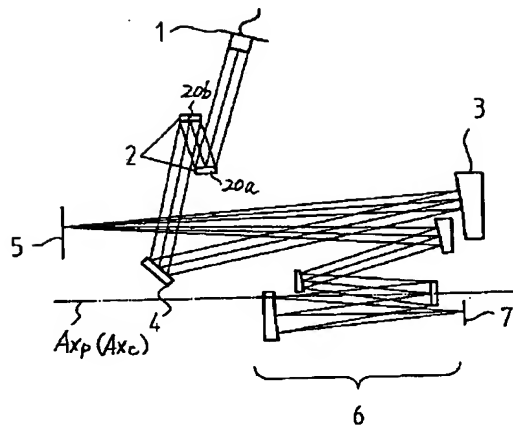
【図 11】



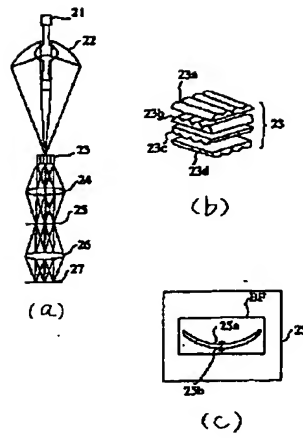
【図 12】



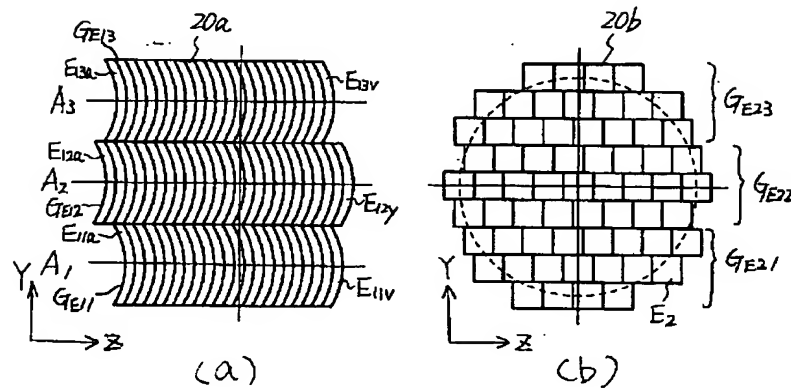
【図13】



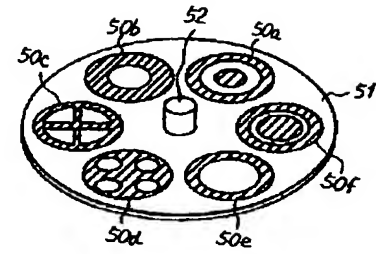
【図16】



【図14】



【図19】



【図15】

